

# TRABAJO DEL INSTITUTO NACIONAL DE BIOLOGIA ANDINA

Director: Prof. CARLOS MONGE

## RITMO DE LA RESPIRACIÓN EN LA ALTURA

Por ALFREDO LYNCH C.

### I

#### REVISION SUCINTA DE LOS FENOMENOS DEL PULSO Y ESTUDIOS DE INTERPRETACION VEGETATIVA

Los estudios realizados en la Escuela de Medicina de Lima, han sido un aporte valiosísimo para el mejor conocimiento de la fisiología del Hombre de los Andes, rectificando conceptos de Escuelas extranjeras y abriendo nuevos horizontes a este tema, que para nosotros tiene especial importancia dada la topografía del país.

Nos proponemos estudiar la respiración en uno de sus aspectos más sencillos : el ritmo — siguiendo para ello el método gráfico — y sus correlaciones con el pulso, cuyo estudio fue iniciado por el Profesor Monge y continuado por sus colaboradores.

Creemos necesario hacer una sucinta revisión de estos trabajos, porque han dado base analógica a lo que nosotros hemos realizado sobre respiración.

Cervelli (1) en 1931, estudió el pulso en la ascensión, en recién llegados y en nativos y residentes aclimatados, llegando a las siguientes conclusiones :

“Durante la ascensión, en condiciones de reposo, hay una aceleración cardíaca”.

“En recién llegados y después de un esfuerzo mínimo, la aceleración es más marcada en las grandes alturas, y el retorno a la normal toma más tiempo”.

“En algunos sujetos hay un tipo de **reacción paradójica** después del esfuerzo. Se encuentra una fase negativa de desaceleración, caracterizada por una caída de la frecuencia a una cifra inferior a la que había al comenzar el esfuerzo”.

“En los nativos y residentes aclimatados, la aceleración del pulso es en general menos marcada después del esfuerzo; en algunos casos no hay aceleración apreciable. El retorno a la normal se verifica en un tiempo menor que en los recién llegados. Hay reacción paradójica en el 11% de los casos”.

“En la prueba de esfuerzo, frente al mismo trabajo, el individuo de la costa responde con una aceleración más marcada en la sierra que en la costa”.

“Frente a un esfuerzo equivalente, el individuo de la altura responde mejor que el de la costa. La reacción paradójica se puede constatar”.

“La prueba de eficiencia cardíaca permite establecer :

a) En los miembros de la expedición, la respuesta cardio vascular al esfuerzo, se hace por el juego combinado de aceleración y amplitud de la onda arterial.

b) En un grupo de 11 atletas recién llegados de la costa, el rendimiento cardio vascular a la prueba de esfuerzo, está muy por debajo del rendimiento técnico calculado para la costa. Existe **reacción bradicárdica** al esfuerzo, en la mitad de los casos.

c) En los andinos : 1º en el 25% de los casos estudiados, el rendimiento de los sujetos aclimatados a la vida de las grandes alturas, es superior en un 100% al de los costeños examinados a nivel del mar; 2º en un cierto número de casos, se encuentra un tipo de reacción paradójica a predominio de bradicardia, que parece ser una de las formas de respuesta cardio vascular ante el esfuerzo en las grandes alturas; 3º en algunos casos en que la prueba de eficiencia era normal, ha sido posible observar en la prueba inmediata de esfuerzo, el “second wind” de los autores americanos”.

“Como consideración general, la respuesta cardio vascular en la prueba de esfuerzo, es más eficaz en los andinos que en los costeños”.

“La constitución del Hombre de los Andes, tiende al atletismo” (Monge).

Monge y colaboradores, en los trabajos sobre circulación, (2) publicados en 1935, llegan a las siguientes conclusiones :

“En las condiciones ordinarias de ascensión en reposo, dentro de los pequeños esfuerzos que se llevan a cabo, el pulso se mantiene dentro de un nivel moderado; inmediatamente que el esfuerzo se sobreagrega o que el recambio aumenta, se rompe la condición aparente de equilibrio y la taquicardia sobreviene”.

“Durante el proceso adaptativo del hombre procedente del mar a las alturas, aparece una tendencia bradicárdica que se expresa tanto en reposo como en esfuerzo moderado. Hay fases bradicárdicas inusitadas durante el proceso adaptativo”.

“No es la regla la taquicardia al esfuerzo; hay reacciones de tipo bradicárdico sin apreciación subjetiva u objetiva de signos de fatiga”.

“Aproximadamente en 8 o 10% de los casos, hay reacciones taquicárdicas permanentes o escalonadas, sin que el organismo exprese signos de fatiga”.

“Es frecuente la inestabilidad del pulso o manifestaciones arrítmicas en sujetos normales o aparentemente normales”.

“La fisiología de la circulación del andino, responde a procesos de regulación distintos de los usuales a nivel del mar”.

“La respuesta cardio vascular al esfuerzo, del Hombre de los Andes, demuestra características del corazón andino, que lo hacen equiparar al de los atletas”.

“La circunstancia de presentarse reacciones de tipo bradicárdico en el curso del esfuerzo o después de él, revela la existencia de un freno fisiológico cuyo punto de partida conviene precisar”.

“Presentándose tanto en los andinos como en los recién llegados dicho freno bradicárdico, hay que convenir en que si el corazón andino supranormal debe su eficiencia a una propiedad intrínseca del miocardio (corazón de atleta), el sistema

nervioso vegetativo debe jugar papel de primer orden en la regulación de la actividad cardíaca”.

“El corazón andino, al trabajar con menor aceleración que en la Costa, para esfuerzos iguales o superiores, debe presentar un gasto pulsatorio muy superior a los hechos conocidos en la diaria fisiología del hombre del nivel del mar. Podría suponerse que aún el gasto por minuto es mayor”.

Monge, en su estudio sobre el pulso, establece las siguientes formas de reacción al esfuerzo: normal, ortocárdica, bradicárdica, taquicárdica y mixtas, y encuentra los siguientes porcentajes :

R. N.	R. O.	R. B.	R. N. T.	R. N. B.
52%	19.3%	10.8%	10%	7.5%
<hr/>				
47.6%				

En la Memoria publicada en 1935 por Monge y Pesce, sobre el Sistema Nervioso Vegetativo del Hombre de los Andes, (3) para apreciar el grado de influencia vago-simpática que rige la actividad cardíaca, se llega a las siguientes interesantes conclusiones :

“En la Sierra hay hipertonía del Vago y del Simpático, con predominio del primero. Hay estado de hipersimpáticotonía en un 15% de los casos”.

“Esta ley de hipertonía vegetativa del Andino explica los hechos anotados en comunicaciones anteriores sobre el trabajo del corazón”.

Más tarde, en 1936, Humberto Aste, (4) estudiando el pulso en costeños y andinos, confirma los trabajos de Monge, obteniendo las siguientes cifras en las reacciones post-esfuerzo :

Sierra (50 casos)      Costa (50 casos)

R. N.	74%	96%
R. O.	2%	0%
R. B.	24%	2%
R. T.	0%	2%

Concluye que, en las reacciones de tipo bradicárdico, además de la participación del sistema nervioso vegetativo, debe jugar un rol importante "alguna propiedad intrínseca del corazón".

En cuanto al sistema nervioso vegetativo, encuentra igualmente una hiperexcitabilidad vegetativa en el Andino: "La excitabilidad vago-simpática del Andino (en la Altura) es superior a la del Costeño (a nivel del mar). El Andino presenta hiperanfoexcitabilidad neurovegetativa a predominio vagal".

En un trabajo presentado por Monge en la Conferencia Pan Americana de Buenos Aires, 1934, y en la de Directores de Sanidad de Washington, 1936, da cuenta de investigaciones electrocardiográficas en que registra la actividad cardíaca, inscribiendo las reacciones paradójicas.

Ricardo Sáenz, (5) en su tesis "Electrocardiografía en la Altura" (1939) hace estudios en 140 andinos, utilizando el método electrocardiográfico, y llega, entre otras, a las siguientes conclusiones :

"Electrocardiográficamente se aprecia : a) ritmos bradicárdicos predominantes; b) ritmos taquicárdicos".

"Existe en el 17% de los casos una bradicardia paradójica post-esfuerzo".

"Existe una arritmia sinusal por hiperanfotonia a predominio vagal en un 70% de los casos".

En suma, los fenómenos de la actividad cardíaca en la altitud muestran una influencia vagal preponderante, que determina reacciones paradójicas bradicárdicas predominantes y, en algunos casos, reacciones taquicárdicas, al parecer de origen simpático.

### **Objeto del trabajo.**

Inspirados en estos estudios sobre el pulso, presentamos este trabajo, en el que hemos sido guiados por nuestro profesor el Dr. Carlos Monge, y cuyo objeto es estudiar, por primera vez, lo que ocurre con el ritmo de la respiración en la Altura, y su correlación con el pulso, a fin de que posteriores investigaciones, permitan apreciar la influencia del sis-

tema autónomo vegetativo u otros, tomando como base nuestro punto de partida.

### **Material de estudio**

En total han sido observados 114 sujetos : 50 en Huancayo (3,200 metros sobre el nivel del mar); 50 en Lima y La Punta (a nivel del mar); 4 en Morococha (4,500 m. s. n. m.) y 10 estudiantes que hicieron el viaje Lima-Morococha-Huancayo.

Los sujetos examinados en Huancayo son todos andinos, en su mayor parte de 18 a 35 años. Más de la mitad no ha vivido nunca en la costa y son casi todos de condición humilde (cargadores, aguadores, etc.).

De los 50 sujetos examinados en la costa, 32 son estudiantes y fueron observados en Lima; los 18 restantes son marineros y se les examinó en la Escuela Naval de La Punta. La edad de todos ellos fluctúa entre 18 y 30 años. En su mayoría son nacidos en la costa y todos residen aquí desde hace varios años.

Los 4 sujetos examinados en Morococha son también andinos; de profesión mineros y su edad varía entre 23 y 34 años.

Los 10 estudiantes de Medicina que hicieron el viaje Lima-Morococha-Huancayo, residen todos en Lima. Su edad oscila entre 24 y 28 años.

En general, todos los sujetos observados han sido sanos, como se dedujo del examen clínico y radiológico que llevó a cabo el Dr. Juan Machivello, del Departamento de Medicina del Hospital "Arzobispo Loayza"—Clínica Médica de Mujeres del Dr. Monge.

Casi todos los observados en Huancayo y Morococha tenían como hábitos coca y alcohol en cantidades moderadas.

### **Técnica e instrumental**

Todas las observaciones se han efectuado en condiciones ordinarias de vida. Los sujetos fueron sometidos a reposo durante un mínimo de quince minutos, al final de los cuales se les tomaba el pulso durante un minuto y luego se inscribía el

trazado de la respiración durante cinco minutos, estando el sujeto de pie. Luego se le invitaba a realizar la prueba de esfuerzo, según el método de Master : subir una escalera de dos peldaños, de nueve pulgadas cada uno, durante un minuto. Inmediatamente después de la prueba de esfuerzo, y estando siempre el sujeto de pie, se contaba el pulso de 30 en 30 segundos y simultáneamente se inscribía un nuevo trazado respiratorio. El pulso se contaba durante cinco minutos y la respiración se inscribía durante diez minutos.

Las observaciones en Huancayo y Lima han sido realizadas exactamente en las mismas condiciones. Para los cálculos, sólo consideramos los casos observados en estas ciudades, en vista del reducido número de casos observados en Morococha, sólo cuatro, insuficientes para llegar a alguna conclusión.

En el grupo de diez estudiantes que viajaron de Lima a Morococha y Huancayo, la respiración en reposo se inscribió sólo durante un minuto. Después del esfuerzo, se tomó el pulso durante cuatro minutos y el trazado respiratorio durante diez minutos.

El pulso no ha sido registrado en los trazados, sino contado directamente, siempre por el mismo observador, con la ayuda de un cronómetro de precisión y siempre de 30 en 30 segundos.

Para el trazado de la respiración se ha utilizado un cinturón neumático de 13 cm. de ancho, aplicado directamente sobre la piel, a la altura del epigastrio y de las últimas costillas. Este cinturón estaba en comunicación con un tambor inscriptor de Marey. Los movimientos de la aguja eran registrados por medio de un kimógrafo a cuerda y el tiempo, en segundos, era también registrado, mediante un cronógrafo tipo Jacquet.

## II

### RITMO DE LA RESPIRACION EN LA ALTURA

#### **Ritmo en reposo.**

En condiciones ordinarias de vida y después de un reposo, que en ningún caso ha sido menor de un cuarto de hora,

la frecuencia media respiratoria de los andinos, oscila dentro de límites más amplios que la de los costeños. En efecto, para los andinos varía entre 17 y 22 respiraciones por minuto, y para los costeños entre 16 y 19, como puede verse en el cuadro N° 1.

La curva de la costa alcanza su vértice en 16 a 20 respiraciones por minuto, con un porcentaje de 56%. Para los andinos, a esta frecuencia sólo corresponde un porcentaje de 36%, y en la frecuencia de 21 a 25 respiraciones, un porcentaje de 40 %. (Véase gráfica N° 1).

Queremos solamente señalar este hecho, sin sacar ninguna conclusión de él, porque los sujetos que nos han servido en la experiencia (Huancayo), son todos ellos gente ignorante y humilde, que por las condiciones del trabajo, que se realizó en el laboratorio, y el hecho de verse rodeados de aparatos y ser sometidos a una prueba que muchos de ellos juzgaban dañina a su organismo, es posible que haya influido, produciendo cierta emotividad, sobre los resultados obtenidos.

Desgraciadamente, no hemos podido hacer el estudio de la amplitud respiratoria, porque el aparato que hemos usado—un cinturón neumático—no lo permite.

### **Ritmo post-esfuerzo.**

Para el estudio del ritmo de la respiración, hemos hecho para cada sujeto una gráfica de la frecuencia respiratoria, antes y después del esfuerzo. Al compararlas, hemos encontrado tipos que corresponderían a las formas señaladas en el pulso por Monge y colaboradores. Por lo tanto, y en vista de la semejanza de las reacciones, hemos creído conveniente reunir las en los siguientes grupos :

1) **Reacción normal.**—Sabemos que la reacción fisiológica al esfuerzo, se traduce normalmente por una aceleración de la respiración, que retorna al nivel basal después de un tiempo variable para cada individuo y para cada esfuerzo (Gráfica N° 2).

(En el eje horizontal se marca el tiempo en minutos y en el eje vertical, la frecuencia respiratoria. La flecha señala el momento del esfuerzo. El primer centímetro de la gráfica re-



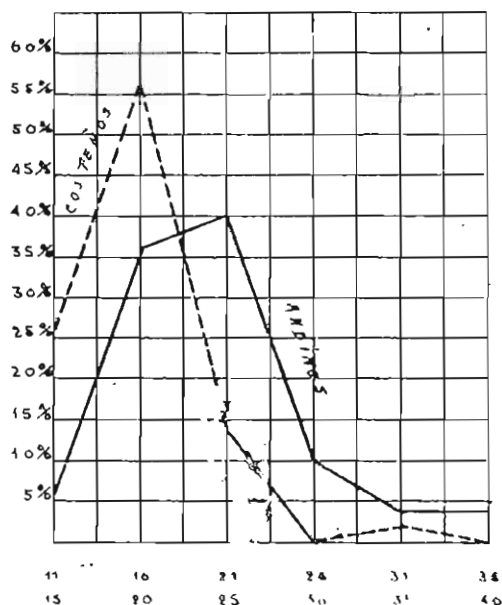
CUADRO Nº 1

## FRECUENCIA RESPIRATORIA EN REPOSO

(50 casos) Andinos		Costeños (50 casos)	
40	0	40	
	0		
35	0	35	0
	0		0
30	00	30	
	0		
	00		
25	00	25	0
	00		00
	0000		
	0000000		00
	00000		00
20	0	20	000
	0000		000000
	0000		0000000
	00000000		00000
	0		0000000
			0000
			000
15		15	00
	000		00
10		10	00
Frecuencia respiratoria.	Casos.	Frecuencia respiratoria.	Casos.

GRAFICA Nº 1

Frecuencia respiratoria en reposo

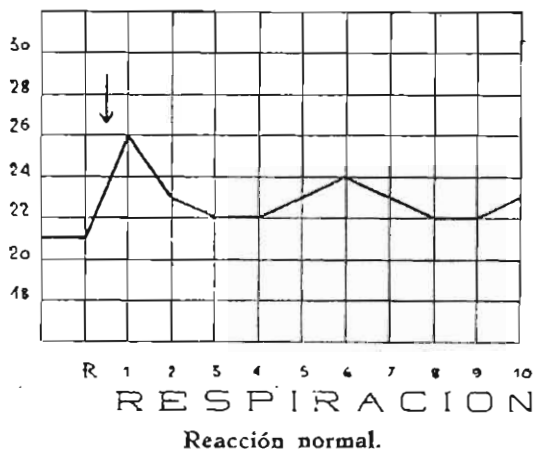


presenta la media aritmética de la frecuencia respiratoria en los cinco minutos del reposo).

Como subtipo de las reacciones normales, tenemos :

GRAFICA Nº 2

HUANCAYO. CASO 22.

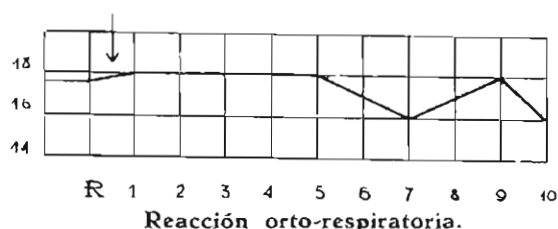


**La reacción orto-respiratoria.**—Existen casos en que la frecuencia no se modifica a pesar del esfuerzo. Falta la aceleración inicial y la curva dibuja una línea más o menos horizontal, del principio al fin de la prueba. Esta forma de reacción traduciría una respuesta respiratoria supranormal, propia del hombre robusto, del atleta o del deportista en forma. La denominamos orto-respiratoria y la consideramos dentro del grupo de las reacciones normales. (Gráfica N° 3).

GRAFICA N° 3

## HUANCAYO CASO 42

## RESPIRACION



Casos de reacciones normales:

Sierra. R. N. 2 - 5 - 11 - 21 - 22 - 24 - 25 - 26 - 29 - 38 - 39 - 40  
46

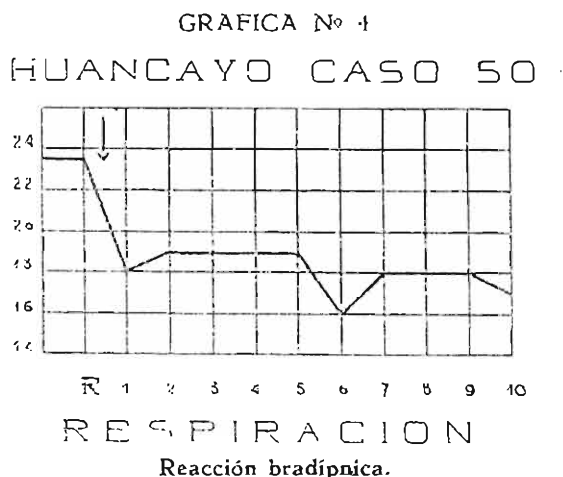
R. O. 1 - 7 - 9 - 10 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16 - 23 - 27 - 28 - 30  
31 - 32 - 36 - 41 - 42 - 43 - 44 - 45 - 47 - 48 - 49

Costa. R. N. 56 - 57 - 59 - 66 - 69 - 70 - 71 - 72 - 77 - 78 - 80 - 81  
82 - 84 - 85 - 94 - 99 - 101 - 103 - 105

R. O. 58 - 61 - 62 - 63 - 64 - 65 - 68 - 73 - 74 - 75 - 76 - 79  
86 - 87 - 88 - 89 - 90 - 91 - 92 - 93 - 95 - 97 - 98 - 100  
102 - 104

En la Costa hemos encontrado un 92% de reacciones normales. En la Sierra (Huancayo) únicamente en el 74% de los casos hemos obtenido una reacción respiratoria normal. Este menor porcentaje de reacciones normales en el Andino, se debe a la presencia de otros tipos de reacción respiratoria, que describimos a continuación :

2) **Reacción bradípnic.**—En este caso, la frecuencia disminuye por debajo de la normal : después del esfuerzo, la respiración cae a un nivel inferior al de la respiración en reposo; esto se acentúa en los minutos que siguen, para luego volver a la frecuencia normal en la mayor parte de los casos. (Gráfica N° 4).



Como subtipo de la reacción bradípnic consideramos :

**La reacción normo-bradípnic.**—En que la respiración después del esfuerzo responde, en un primer momento, con un incremento de la frecuencia, luego desciende a un nivel inferior al de la respiración en reposo, para recuperar la cifra normal al fin de la prueba. (Gráfica N° 5).

Casos de reacciones bradípnicas :

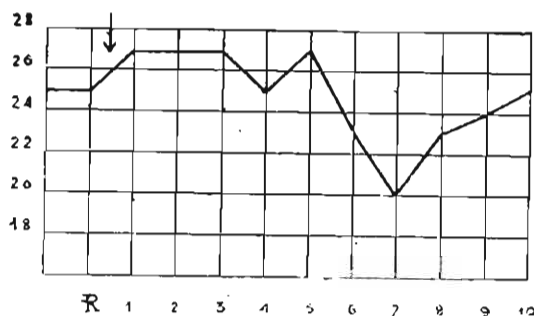
Sierra : 19 - 50 - 4 - 8 - 20 - 33 - 37.

Costa : 60 - 67.

Hacemos notar que este tipo de reacción (las reacciones bradípnicas), que se aparta por completo de la reacción normal en la costa, se encuentra en el andino en un porcentaje relativamente elevado : 14 %, en tanto que en la costa sólo alcanza el 4 %.

GRAFICA Nº 5  
**HUANCAYO CASO 37**

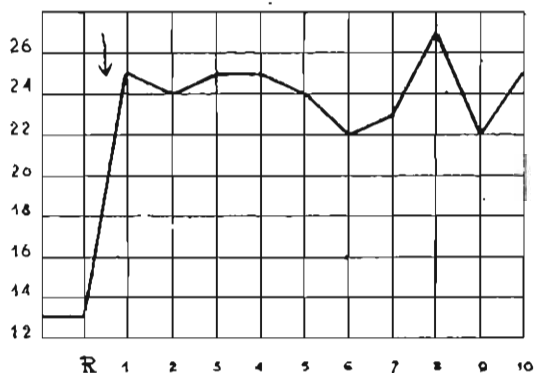
**RESPIRACION**



Reacción normo-bradípica.

3) **Reacción polípica.**—En la cual, inmediatamente después del esfuerzo, la respiración asciende bruscamente a un nivel muy superior al del reposo y se mantiene en él, con muy ligeras oscilaciones. (Gráfica Nº 6).

GRAFICA Nº 6  
**HUANCAYO CASO 3**



**RESPIRACION**

Reacción polípica.

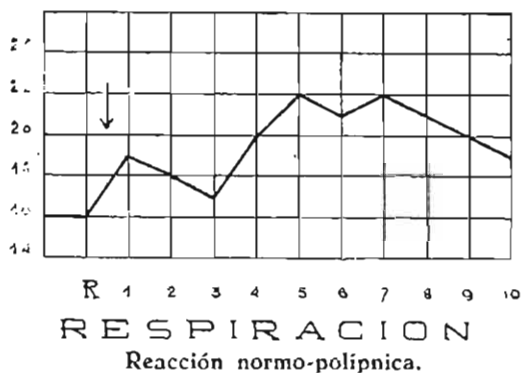
Como subtipo, consideramos también aquí una forma mixta :

La **reacción normo-polípica**, en que la respiración responde primero normalmente con una fase de aceleración, segui-

da por la recuperación a la cifra normal del reposo, para luego hacer una nueva aceleración más elevada, que tiende a recuperarse sólo al final de la prueba. (Gráfica N° 7).

GRAFICA N° 7

## HUANCAYO CASO 18



Casos de reacciones polípnicas :

Sierra : 3 - 6 - 17 - 35 - 18 - 34.

Costa : 83 - 96.

A las reacciones polípnicas, corresponde un porcentaje de 12 % en la sierra y de 4 % en la costa.

En el cuadro N° 2, que presentamos a continuación, hemos agrupado dentro de las reacciones normales, las reacciones orto respiratorias, como ya hemos dicho. Las otras formas de reacción, o sea las bradípnicas y las polípnicas, están consideradas como propias del andino.

En el histograma N° 1 se ve claramente que en la Costa hay un porcentaje más alto de reacciones normales, y en cambio en la Altura hay un predominio marcado, en relación con la Costa, de las reacciones bradípnicas y polípnicas.

CUADRO Nº 2

## RITMO DE LA RESPIRACION POST-ESFUERZO

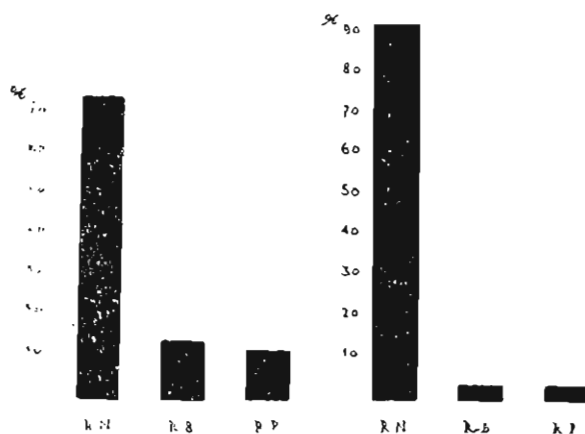
ANDINOS			COSTENOS		
(50 casos)			(50 casos)		
R. N.	$\left\{ \begin{array}{ll} \text{R. N.} & 13 \text{ casos} \\ \text{R. O.} & 24 \text{ ..} \end{array} \right\}$	74%	R. N.	$\left\{ \begin{array}{ll} \text{R. N.} & 20 \text{ casos} \\ \text{R. O.} & 26 \text{ ..} \end{array} \right\}$	92%
R. B.	$\left\{ \begin{array}{ll} \text{R. B.} & 2 \text{ ..} \\ \text{R. N. B.} & 5 \text{ ..} \end{array} \right\}$	14%	R. B.	$\left\{ \begin{array}{ll} \text{R. B.} & 1 \text{ caso} \\ \text{R. N. P.} & 1 \text{ ..} \end{array} \right\}$	4%
R. P.	$\left\{ \begin{array}{ll} \text{R. P.} & 4 \text{ ..} \\ \text{R. N. P.} & 2 \text{ ..} \end{array} \right\}$	12%	R. P.	$\left\{ \begin{array}{ll} \text{R. P.} & 2 \text{ casos} \\ \text{R. N. P.} & 0 \text{ ..} \end{array} \right\}$	4%
<hr/>			<hr/>		
R. N.	R. B.	R. P.	R. N.	R. B.	R. P.
	14%	12%		4%	4%
	<hr/>			<hr/>	
	26%			8%	

# HISTOGRAMA N°1

## RITMO RESPIRATORIO

### POST-ESFUERZO

ANDINOS 50 CASOS      COSTEÑOS 50 CASOS



III

### CORRELACION DE LA RESPIRACION CON EL PULSO, EN LOS ANDINOS

Hemos comparado caso por caso, las curvas de frecuencia de respiración y pulso en los andinos, tratando de establecer los tipos de reacción del pulso, que corresponden a cada una de las formas de reacción respiratoria, como puede verse en el cuadro N° 3.

Al observar el cuadro encontramos : En el pulso de los andinos, un 50% de reacciones normales, Esta proporción se aproxima mucho a la encontrada por Monge en la altura : 52.4% (1).

En el pulso de los costeños, hemos hallado un 84% de reacciones normales.

En cuanto a las reacciones de sentido bradicárdico, hemos encontrado en la altura un 34%, lo que es también muy aproximado a lo encontrado por Monge en andinos : 37%.



En la Costa, sólo hallamos un 6% de reacciones de sentido bradicárdico.

En lo que se refiere a las reacciones de sentido taquicárdico, nuestras cifras : 16%, son algo más elevadas que las observadas por Monge quien encuentra una proporción de 10% en la altura.

En la Costa, encontramos un 10% de reacciones de sentido taquicárdico.

Comparando las reacciones de pulso y respiración en la altura, encontradas por nosotros, observamos que el porcentaje de reacciones de tipo andino es más elevado en el pulso (50%), que en la respiración (26%).

CUADRO Nº 3

Sierra (50 casos)			Costa (50 casos)		
Respiración		Pulso	Respiración		Pulso
R. N. (37 casos)	{	R. N. 19 casos	R. N. (46 casos)	{	R. N. 39 casos
	{	R. B. 12 „		{	R. B. 3 „
	{	R. T. 6 „		{	R. T. 4 „
R. P. (6 casos)	{	R. N. 2 „	R. P. (2 casos)	{	R. N. 2 „
	{	R. B. 2 „		{	
	{	R. T. 2 „		{	
R. B. (7 casos)	{	R. N. 4 „	R. B. (2 casos)	{	R. N. 1 caso
	{	R. B. 3 „		{	R. T. 1 „

## Pulso en Andinos.

R. normales :	50%
R. de sentido bradicárdico :	34%
R. de sentido taquicárdico :	16%

## Pulso en Costeños.

R. normales :	84%
R. de sentido bradicárdico :	6%
R. de sentido taquicárdico :	10%

## ANDINOS

	Respiración	Pulso
Reacciones normales :	74%	50%
Reacciones de tipo Andino :	26%	50%

## IV

## RESPIRACION Y PULSO ADAPTATIVOS

**Ritmo de la respiración en reposo.**

Sería lógico pensar que en el individuo que sube del llano, la respiración en la altura sea más frecuente o más profunda. Saussure, después de su primera ascensión al Monte Blanco decía : "Allá arriba, habiendo el aire perdido más de la mitad de su peso, era necesario suplir a la densidad, con una frecuencia mayor de las inspiraciones".

Sin embargo, en las pruebas realizadas por nosotros con un grupo de 10 alumnos de Medicina, que realizó el viaje Lima-Morococha-Huancayo (enero, febrero de 1941), observamos que en casi todos la frecuencia en Morococha se encuentra más o menos igual que en Lima y en algunos casos (Cosío, Carlín, García y Cuba), un poco más baja, con una diferencia de 2 o 3 respiraciones. Esta prueba se tomó, más o menos, a las 24 horas de la llegada y en condiciones ordinarias de vida, después de un reposo en cama de, por lo menos, 15 minutos.

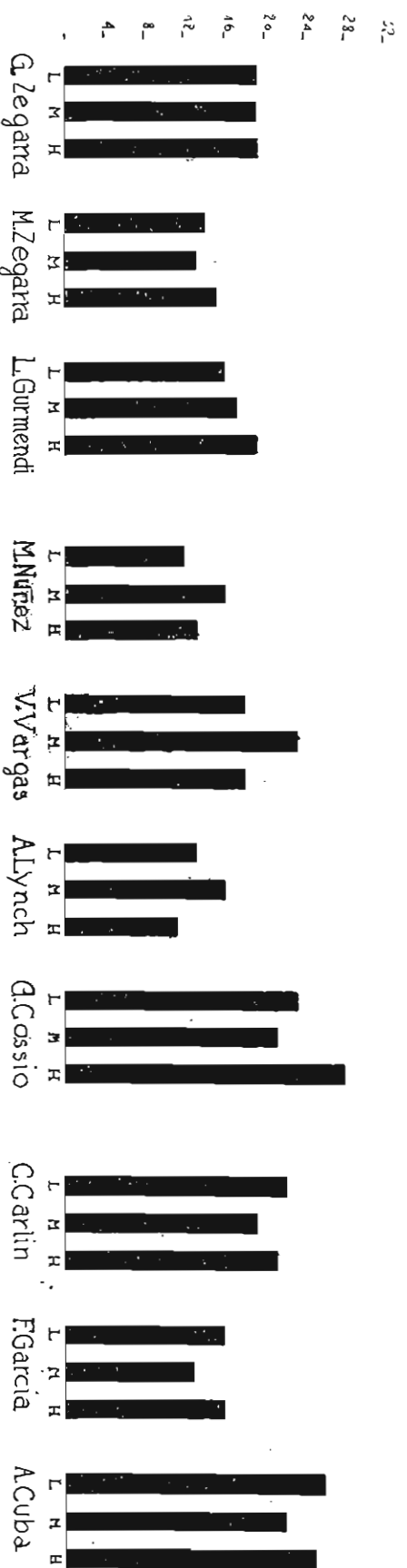
Debemos señalar un hecho interesante que hemos observado. Los estudiantes Cuba, Carlín y García, que tienen una frecuencia en Morococha menor que en Lima, fueron los afectados de Soroche en distinto grado. Examinando sus trazados de respiración, se ve que además de la menor frecuencia, la amplitud respiratoria es también menor, es decir, que había una respiración más superficial, respirando menos veces que en Lima, en la unidad de tiempo.

En Huancayo, los resultados son parecidos a los de la costa, y en los tres únicos casos (Vargas, Lynch y Núñez), en que la frecuencia respiratoria en Morococha, es ligeramente más alta que en Lima, después de varios días de estadía en la altura, la frecuencia desciende hasta igualarse a la del nivel del mar. (Histograma N° 2).

HISTOGRAMA N°2

RITMO EN REPOSO

ADAPTACION



**Ritmo de la respiración post-esfuerzo.**

Para el estudio de las reacciones respiratorias, se hizo realizar la prueba de esfuerzo, en las mismas condiciones en Lima, Morococha y Huancayo a cada uno de los miembros de la expedición.

El resultado se puede apreciar en el cuadro N° 4 que presentamos a continuación.

CUADRO N° 4

**REACCIONES RESPIRATORIAS POST-ESFUERZO,  
EN LA ADAPTACION.**

	<b>Lima</b>	<b>Morococha</b>	<b>Huancayo</b>
C. Carlin	RN	RP	RN
L. Gurmendi	RN	RN	RN
M. Núñez	RN	RO	RNP
V. Vargas	RN	RNB	RNB
G. Cossío	RO	RN	RB
M. Zegarra	RO	RO	RN
A. Cuba	RO	RN	RO
F. García	RO	RP	RN
G. Zegarra	RO	RB	RB
A. Lynch	RNB	RNB	RN

<b>Lima</b>		<b>Morococha</b>		<b>Huancayo</b>	
RN	{ RN 4 casos	RN	{ RN 3 casos	RN	{ RN 5 casos
	{ RO 5 „		{ RO 2 „		{ RO 1 „
RNB	{ 1 caso	RB	{ RB 1 caso	RB	{ RB 2 casos
			{ RNB 2 casos		{ RNB 1 caso
		RP	{ 2 „	RNP	{ 1 „

No hacemos porcentajes dado el reducido número de casos, pero llama la atención :

En la altura, el número de casos de reacciones normales es menor que en la costa. En efecto, en Morococha hay 5 casos de reacción normal y en Huancayo 6; en cambio en Lima hay 9 casos.

De estos 9 alumnos que hacen reacción normal en la costa, 6 de ellos presentan en la altura (Morococha y Huancayo), reacción de tipo andino.

Las reacciones de sentido bradicárdico están en mayor número en la altura : 3 casos en Morococha y 3 en Huancayo. En cambio sólo 1 caso en Lima. Dentro de este tipo de reacciones de sentido bradípnicico, la forma bradípnicica pura, sólo aparece en la altura.

Lo mismo se observa en las reacciones de sentido polípnicico : sólo se constatan en la altura.

### **Correlación de la respiración y el pulso, en la adaptación.**

Hemos comparado caso por caso, las reacciones de respiración y pulso, primero en Lima (a nivel del mar), después en Morococha (4500 m.), y luego en Huancayo (3200 m.). La prueba de esfuerzo se realizó en las mismas condiciones en cada una de estas ciudades. Las pruebas en Lima, fueron tomadas en los cuatro días anteriores a la partida; en Morococha, se tomaron dentro de las primeras 24 horas de su llegada; por último, en Huancayo, las pruebas se tomaron en general a los 4 días de permanencia en la altura, excepción hecha del alumno Núñez, quien tenía 13 días de permanencia en la sierra.

Los resultados se pueden apreciar en el cuadro siguiente :

CUADRO Nº 5

## PULSO POST-ESFUERZO EN LA ADAPTACION

COSTA		ALTURA	
Lima		Morococha	Huancayo
Carlín	RN	RN	RNT
Purmendi	RN	RNT	RNT
Núñez	RO	RNT	RNT
Vargas	RN	RN	RNT
Cossío	RN	RN	RNT
M. Zegarra	RNT	RN	RO
Cuba	RN	RN	RN
García	RNT	RNT	RN
G. Zegarra	RN	RNB	RN
Lynch	RN	RNT	RNB
-----		-----	-----
Reacciones normales :	8 casos	5 casos	4 casos
Reacciones de sentido bradicárdico :	0 „	1 „	1 „
Reacciones de sentido taquicárdico :	2 „	4 „	5 „

En el cuadro Nº 5 se puede apreciar que :

El número de reacciones normales es mayor en la Costa que en la Altura.

Las reacciones de sentido bradicárdico sólo aparecen en la Altura.

Las reacciones de sentido taquicárdico se presentan en mayor proporción en la Altura que en la Costa.

### CORRELACION DE PULSO Y RESPIRACION EN LA ALTURA

	Morococha		Huancayo	
	Resp.	Pulso	Resp.	Pulso
Reacciones normales :	5 casos	5 casos	6 casos	4 casos
Reacciones de tipo Andino :	5 „	5 „	4 „	6 „

Comparando las reacciones de pulso y respiración en la Altura, observamos que la proporción de reacciones de tipo andino en Huancayo es superior para el pulso que para la respiración y, en Morococha, igual para pulso y respiración.

### Discusión.

La regulación de la función respiratoria se halla bajo la dependencia del centro respiratorio.

Según las experiencias realizadas primeramente por Legallois (1824) y confirmadas posteriormente por Flourens, (1842) el centro respiratorio se encuentra en el suelo del cuarto ventrículo, ocupando una pequeña zona a nivel del pico del calamus scriptorius, zona que se denominó "nudo vital". Existirían en realidad dos centros respiratorios que actuarían sinérgicamente, comandando cada uno la motilidad del hemitorax correspondiente; por eso la sección longitudinal del bulbo a lo largo de la línea media, sólo produce la falta de sincronismo entre los movimientos de uno y otro hemitorax. El centro respiratorio, además, no es tan superficial como lo consideraron Legallois y Flourens y tiene una localización más difusa. Misiawsky (1885) lo localiza en la formación reticular, a cada lado del rafe medio, por dentro del núcleo del hipogloso. Gad y Marinescu, en 1893, confirman los trabajos de Misiawsky. "Recientes estudios de Henderson y Craigie (1936) y de Gesell, Bricker y Magee

(1939), parecen no dejar la menor duda de que el centro respiratorio está esparcido en la formación reticular". (6).

El centro respiratorio posee un ritmo intrínseco fundamental, determinado por estímulos químicos, que puede ser modificado por acción refleja. El ritmo respiratorio, pues, funciona por un doble mecanismo : químico y reflejo.

**Control reflejo.**—Existen zonas reflexógenas indispensables para el mantenimiento del ritmo respiratorio normal. La más importante se encuentra en los pulmones. Las otras se hallan en el cayado aórtico, en el seno carotídeo y en la vena cava. Además, existen otros puntos de partida de reflejos, pero son incidentales y de mucho menor importancia : como sensaciones visuales, táctiles, auditivas de cierta magnitud; la emoción, el dolor, la influencia de la temperatura ambiente, reflejos protectores (tos, estornudo), excitación del trigémino; reflejos propioceptivos partidos de las paredes torácicas, de los músculos respiratorios, de los músculos estriados en general, aún de la piel. Finalmente, la respiración puede ser modificada por acción de los centros superiores, desde la corteza cerebral (por ejemplo, acción de la voluntad) o desde el dienfalo (por ejemplo, el centro termo-regulador).

Los impulsos nerviosos aferentes partidos del pulmón y provocados por la distensión y retracción de este, dan lugar a los conocidos **reflejos de Hering-Breuer**. La vía aferente está en el vago y el punto de partida de estos reflejos se halla en la zona más distensible del pulmón, a nivel de los conductos alveolares. Head los estudió registrando las contracciones de un fascículo muscular aislado de diafragma en el conejo y encontró que cuando ocluía la traquea al final de una inspiración normal, el diafragma se relajaba y se producía una fase de apnea, hasta que el incremento de la asfixia vencía la inhibición nerviosa y entonces se presentaba un esfuerzo inspiratorio más poderoso y de mayor duración. Cuando la traquea fue ocluida al final de la espiración, se produjo una inspiración más amplia y prolongada, pero que no fué precedida de una fase de apnea. (Fig. 1). Estos mismos fenómenos han sido producidos con mayor intensidad : el primero, por insuflación artificial del pulmón (aún con hidrógeno) y el segundo, por succión artificial del aire fuera de la traquea.



(Fig. Nº 2). Estos resultados muestran claramente que la distensión del pulmón inhibe la inspiración y que el colapso de él, la estimula. Esta es la esencia de la autorregulación de la función respiratoria por medio del vago. Como vemos, hay dos tipos de impulsos, unos provocados por la distensión y otros por la retracción; estos impulsos tienen receptores propios. Los impulsos provocados por la distensión del pulmón (inspiración), inhiben las neuronas inspiradoras del centro y tienen como punto de partida receptores que se llaman inhibo-inspiradores. De otro lado, los impulsos provocados por el colapso del pulmón (espiración), excitan las células inspiradores del centro y tienen, como punto de origen, receptores denominados excito-inspiradores. Los receptores inhibo-inspiradores se hacen accesibles al estímulo sólo en la fase de distensión del pulmón y los excito-inspiradores, en la de retracción; pero para que estos últimos se exciten es necesario llegar a la retracción máxima del pulmón, por succión del aire fuera de la tráquea o por gran presión ejercida sobre el tórax. Es posible que las poderosas contracciones espiratorias de la disnea puedan retraer los pulmones a tal grado, que provoquen estos reflejos excito-inspiradores. Los receptores inhibo-inspiradores son los únicos que normalmente informan al centro respiratorio sobre el volumen de los pulmones; en circunstancias normales, ellos son los responsables de todos los reflejos de Hering. (7).

**Concepción de Adrian.**—El centro respiratorio funciona con un ritmo propio, que depende de cambios internos que se producen constantemente en él, los cuales determinan un desarrollo recurrente de su actividad, o sea, la descarga de impulsos a los músculos respiratorios. Los impulsos inhibidores que alcanzan al centro durante su fase de actividad (inspiración), cortan esta fase del ciclo y aceleran su recuperación; en cambio, cuando los impulsos inhibidores alcanzan al centro durante la fase de recuperación (fase de reposo) para una nueva descarga, ellos prolongan el proceso de recuperación. Por lo tanto, en el primer caso los impulsos inhibo-inspiradores aceleran la frecuencia de la respiración y, en el segundo caso, la respiración se hace lenta. (7).

**Reflejos partidos de la aorta y carótidas.**—Estos reflejos se originan en el cayado de la aorta y en la región de los senos carotídeos. Los reflejos respiratorios son llevados por los mismos nervios que los circulatorios : los de la aorta, por los nervios depresores que van al neumogástrico; los de los senos carotídeos, por los nervios carotídeos que terminan en el glosofaríngeo.

Los reflejos respiratorios que se originan en cada una de estas zonas, son de dos tipos : unos gobernados por la presión sanguínea y otros provocados por influencias químicas.

a) Reflejos tensionales : estos reflejos son paralelos a los que van al centro vasomotor; un aumento de la presión en la aorta y senos carotídeos hace lenta la respiración y baja la presión sanguínea; una disminución de la presión en las mismas regiones, acelera la respiración y eleva la presión arterial.

b) Reflejos de orden químico : un incremento de la tensión del gas carbónico, una disminución de la tensión de oxígeno o un aumento de la acidez en la corriente sanguínea dentro de la aorta y carótidas, estimula reflejamente la respiración. A la inversa, un descenso en la tensión del gas carbónico, un aumento en la tensión de oxígeno o una disminución de la acidez, tienen efecto opuesto. No hay duda que los cambios en estos agentes modifican reflejamente la respiración; pero esto no quiero decir que los efectos producidos por estos agentes, dentro de los límites fisiológicos, sean debidos íntegramente a reflejos, o sea, que los reflejos no lo son todo. Los cambios en la tensión del gas carbónico y en la concentración de hidrogeniones de la sangre, probablemente deben sus efectos sobre la respiración, más a una influencia directa sobre el centro que a reflejos. (7).

**Regulación química.**—El centro respiratorio tiene una especial sensibilidad a los cambios químicos de los tejidos y linfa que lo rodean y estos, a su vez, están influenciados por los cambios químicos de la sangre, lo que explica que cambios químicos de la sangre actúen sobre el centro.

El mecanismo químico directo es suficiente para mantener la respiración; de modo que, en este sentido, el centro res-

piratorio es automático, pudiendo funcionar con independencia de los nervios sensitivo-reguladores.

Los estímulos químicos directos del centro respiratorio son, fundamentalmente : 1º el aumento del gas carbónico en la sangre, 2º el aumento de la concentración de hidrogeniones y 3º la disminución del oxígeno. Cambios opuestos en estos agentes actúan en sentido contrario, es decir, inhiben el centro respiratorio.

La actividad específica de las neuronas del centro respiratorio (descarga de impulsos motores a los músculos respiratorios) es grandemente influenciada por la concentración de hidrogeniones. Ellas descargan más impulsos cuando el equilibrio ácido básico se desvía hacia el lado ácido y a la inversa, descargan menos impulsos cuando se desvía hacia el lado alcalino. La importancia de esto estriba en que la actividad del centro respiratorio, por su acción sobre la respiración, va a determinar cambios opuestos en el equilibrio ácido básico de la sangre. "Se puede considerar al centro respiratorio como un centinela siempre alerta, que guarda constantemente al organismo contra los cambios en el equilibrio ácido básico de la sangre". (7).

La respiración contribuye también al mantenimiento del equilibrio ácido básico de la sangre por dos mecanismos : el primero es el gran volumen de aire contenido en los pulmones; el segundo, está dado por los tejidos y la linfa, en y alrededor del centro respiratorio, que presentan cierta resistencia a los cambios en la tensión del gas carbónico, suprimiendo la acción, sobre el centro, de los cambios de corta duración en la tensión del gas carbónico de la sangre y prolongando la influencia de las variaciones de larga duración. (8).

#### **Paralelo entre la regulación de la respiración y de la circulación.**

Si comparamos el esquema general de la regulación de la respiración con el de la circulación, encontramos varios puntos de similitud. En la circulación, la corriente sanguínea es regulada por la acción sinérgica de la contracción del múscu-

lo cardíaco y el tono de la musculatura lisa de los vasos sanguíneos; en la respiración, la corriente aérea en el pulmón y vías respiratorias superiores, es regulada por la acción sinérgica de la contracción de los músculos respiratorios y el tono de la musculatura lisa de las vías aéreas. En ambas, circulación y respiración, las contracciones musculares poseen un ritmo regular. En ambas, el ritmo parte de una zona cuya función especializada es ser el punto de partida del ritmo para todo el sistema : el nodo sinusal en el corazón es comparable, desde este punto de vista, al centro respiratorio. En ambos casos, el ritmo es debido al hecho de que el tejido en donde él se origina, se hace menos excitable, como resultado de su actividad y no puede repetir la descarga hasta que se ha recuperado. Así, un estímulo químico constante da origen a una actividad rítmica en el nodo sinusal y en el centro respiratorio. En ambos casos, el impulso que gobierna la contracción es conducido desde el punto de origen en tal forma, que las contracciones musculares resultantes son perfectamente coordinadas y se producen en el momento oportuno. En el corazón, el impulso parte y es conducido en el órgano mismo; pero en el sistema respiratorio, el origen y la conducción están situados enteramente en el tejido nervioso. En ambos casos, el ritmo intrínseco es modificado por impulsos nerviosos, que actúan sobre la estructura en donde el ritmo se origina y, en uno y otro caso, hay dos tipos de tales impulsos : uno inhibidor, el otro excitador del ritmo intrínseco. Tanto en la circulación como en la respiración, los impulsos nerviosos aferentes tienen el mayor efecto sobre el ritmo y se originan en receptores especializados, situados en la zona periférica del sistema : el cayado aórtico y los senos carotídeos, en el caso del corazón; las últimas ramificaciones bronquiales (conductos alveolares), en el caso de la respiración.

### Interpretación.

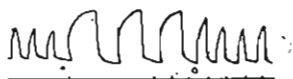
En muchos de los casos observados entre los andinos se encuentran fases polípnicas y en otros bradípnicas.

En cuanto a la reacción respiratoria después del esfuerzo, encontramos los siguientes porcentajes entre andinos y costeños : para los andinos, reacciones normales = 74%;

## FIGURA N°1



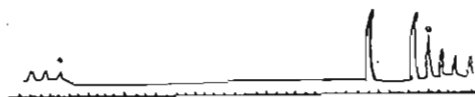
- + Oclusión de la tráquea al fin de la inspiración
- o) Supresión del Obstraculo



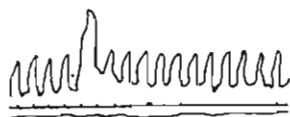
- + Oclusión de la tráquea al fin de la espiración
- o) Supresión del Obstraculo

Tomada de Macleod's Physiology.

## FIGURA N°2



- + Insuflacion del pulmon al fin de la inspiracion



- + Colapso del pulmon por succión del aire  
fuera de la tráquea al fin de la espiracion

reacciones de tendencia polípnicia = 12%; reacciones de tendencia bradípnicia = 14%. Para los costeños : reacciones normales = 92%; reacciones de tendencia polípnicia = 4%; reacciones de tendencia bradípnicia = 4%. Como se observa, en el andino hay dos tendencias manifiestas : una bradípnicia y otra polípnicia.

Como hemos visto anteriormente, si los impulsos inhibidores partidos del pulmón y transmitidos por el vago, alcanzan el centro respiratorio durante la fase de actividad (inspiración), aceleran la frecuencia de la respiración (fases polípnicas); y si lo hacen durante la fase de reposo, el proceso de recuperación es alargado y la respiración se hace lenta (fases bradípnicas). Por otro lado en la Altura existe una hiperanfotonía neurovegetativa a predominio vagal, según los estudios del Profesor Monge y colaboradores.

De lo anteriormente expuesto deducimos, que las fases polípnicas y bradípnicas podrían atribuirse a la acción vagal.

Además de esto hay mecanismos compensadores, como son el aumento del gasto respiratorio (9), y de la capacidad pulmonar, sobre todo a expensas del aumento del aire residual (10), el que no sólo llenaría esta función, sino que jugaría un importantísimo papel como tampón en la regulación del equilibrio ácido básico de la sangre, que se ve constantemente expuesto a cambios, por la variación de la frecuencia y de la amplitud de los movimientos respiratorios.

#### CONCLUSIONES :

- 1º El ritmo en reposo, en las condiciones de nuestro trabajo, es sensiblemente igual en la altura y a nivel del mar.
- 2º El ritmo respiratorio en los andinos, después de un esfuerzo moderado, responde en distinta forma que en los costeños.
- 3º En el ritmo de la respiración post esfuerzo, hemos encontrado un porcentaje de reacciones bradípnicas, mucho mayor en los andinos (14%), que en los costeños (4%).
- 4º—Igualmente, las reacciones polípnicas en los andinos (12%), se encuentran en un porcentaje más elevado que en los costeños (4%).

- 5º Comparando las reacciones de pulso y respiración en la altura, el porcentaje de reacciones de tipo andino, es más elevado en el pulso (50%), que en la respiración (26%).
- 6º Con la ascensión, cambia el tipo de reacción post-esfuerzo : de los 9 miembros de la expedición que presentaron a nivel del mar reacciones normales, 6 de ellos respondieron en la altura con reacciones de tipo andino.

### BIBLIOGRAFIA

- (1) Miguel Cervelli.—Tesis de bachiller. "Respuesta cardiovascular al esfuerzo en la altiplanicies andinas". 1931.
- (2) Carlos Monge M. y colaboradores. — "El pulso : ritmo y forma" — "Rendimiento cardio vascular al esfuerzo en el Hombre de los Andes". Anales de la Facultad de Ciencias Médicas. Tomo XVII Nº 1. Lima-Perú.
- (3) Carlos Monge M. y Hugo Pesce. — "El Sistema Nervioso Vegetativo del Hombre de los Andes". Anales de la Facultad de Ciencias Médicas. Tomo XVII, Nº 1. 1935.
- (4) Humberto Aste Salazar.—Tesis de bachiller. "Exploración del Sistema Nervioso extracardiaco en el Hombre de los Andes". 1936.
- (5) Ricardo Saenz.—Tesis de bachiller. "Electrocardiografía en la altura". Anales de la Facultad de Ciencias Médicas. Tomo XXII, Nº 2, 1939.
- (6) Carl Wiggers.—"Physiology in Health and Disease". 1939.
- (7) Philip Bard.—"Macleod's Physiology in Modern Medicine". 1938.
- (8) J. S. Haldane and J. G. Priestley.—"Respiration". 1935.
- (9) Carlos Monge M. — "Climatopsiologie des Hauts Plateaux". — Climatologie Biologique et Medicale. Paris.
- (10) Alberto Hurtado y Andrés Rotta. — "La capacidad pulmonar en la altura". Revista de la Sociedad de Biología. Tomo I. Nº 1. 1939. Lima-Perú.

### SUMMARY

The author briefly summarizes the works of Cervelli and of Monge and Pesce on the variations of pulse rate in high altitudes.

He then studies the respiration rate after effort at sea level and at high altitude on acclimated men. He classifies the results as normal, bradipneics and polipneics stating and explaining clearly the characteristics of each group, and establishing their percentages.

The author studies also the pulse rate after effort, comparing his findings to those of Monge, and pointing out the relations between pulse rate and respiration rate after effort, at sea level and at high altitudes.

He also makes determinations in 10 men, not acclimated to high altitudes, who made the Lima-Morococha-Huancayo trip. He studies the adaptation of the pulse and respiratory rate in rest, as well as after effort.

He analyzes all these phenomena in the light of the modern views of Physiology, and concludes as follows:

1) The respiratory rate at rest is apparently the same at sea level and in high altitudes.

2) The respiratory rate in andean men, responds to effort in a different way (andean type) to that of the men of the Coast (coast type).

3) Concerning the post-effort respiratory rate, there is a higher percentage (14 %) of bradipneics among andean men than among the men of the Coast (4 %).

4) The same can be said of the polipneics which are in a proportion of 12 % among the andean men, against only 4 % in the Coast.

5) Comparing the reactions of pulse and respiration at high altitude, the percent reactions of "andean type" is higher in pulse (50 %) than in respiration (26 %).

6) The type of response to effort, changes by ascending.

### RÉSUMÉ

L'auteur résume les travaux de Cervelli et de Monge et de Pesce sur les variations du pouls dans l'altitude.

Il étudie ensuite la respiration après l'effort dans les sujets acclimatés, au niveau de la mer et dans l'altitude. Il classifie les résultats comme normaux, bradipneiques et polypneiques, tout en expliquant les caractéristiques de chaque groupe et en établissant les pourcentages.

Il étudie aussi le pouls après l'effort, en comparant ses observations avec celles de Monge et en désignant les relations entre le pouls et le rythme respiratoire après l'effort, au niveau de la mer et dans l'altitude.



Il fait aussi des observations sur 10 hommes pas acclimatés à l'altitude, qui firent le parcours Lima-Morococha-Oroya. Il étudie l'adaptation du pouls et la respiration au repos et après l'effort.

Il analyse tous ces phénomènes, sous le point de vue de la physiologie moderne, d'où il arrive aux conclusions suivantes:

1) Le rythme respiratoire au repos est apparemment pareil dans l'altitude ainsi qu'au niveau de la mer.

2) Le rythme respiratoire des habitants des Andes a une réponse différente à l'effort (type des Andes) que celui de l'homme de la côte (type de la côte).

3) Dans le rythme respiratoire post-effort il existe un pourcentage de réactions bradypneiques beaucoup plus élevé dans les habitants des Andes (14 %) que dans les habitants de la côte (4 %).

4) De la même façon, les réactions polypneiques des habitants des Andes (12 %) ont un pourcentage plus élevé que celui des habitants de la côte (4 %).

5) Si l'on compare les réactions du pouls et de la respiration dans l'altitude, le pourcentage de réactions du type des Andes est plus élevé pour le pouls (50 %) que pour la respiration (26 %).

6) Le type de réaction post-effort change avec l'ascension.