

El feto en la altura *

DR. CARLOS C. CASTAÑOS**

LOS estudios realizados sobre gases en sangre y equilibrio ácido-base han mostrado que el feto se desarrolla en condiciones de menor cantidad de oxígeno y acidosis, lo que ha determinado el uso de términos como el de *hipoxia fetal*. Por tratarse de condiciones fisiológicas normales parece poco adecuado utilizar dicha expresión, ya que cuando el embarazo sigue un curso normal, el feto, pasando por un determinado ciclo de desarrollo regular nace a su término vivo, sano y adaptado a la vida y al ulterior desarrollo de las condiciones de existencia extrauterina, nuevas para él. No cabe duda que en todos los estados de desarrollo intrauterino el organismo del feto se provee de oxígeno de completo acuerdo con sus necesidades y que, cuando el embarazo sigue un curso normal no sufre de insuficiencia alguna de oxígeno¹¹.

Debido a que el habitante de las grandes alturas presenta mecanismos fisiopatológicos especiales que le permiten vivir en las condiciones propias de las regiones altas, es de interés conocer lo que ocurre con el feto de madres que viven a niveles superiores a los 3,000 metros.

Existe acuerdo unánime que por encima de los 3,000 metros de altura sobre el nivel del mar, el ser humano presenta modificaciones morfológicas y fisiológicas que permiten hablar del *hombre de altura*, por otra parte los nacidos en niveles más bajos cuando se trasladan a la altura deben sufrir, en el curso de algunas semanas, modificaciones que se conocen con el nombre de *fenómenos de adaptación*. Para dar una idea de las modificaciones encontradas en el hombre en la altura, se muestra en la tabla I una comparación de algunos valores considerados normales a nivel del mar, 3,650, 4,570 y 4,700 mts de alturas, respectivamente.

Los factores que tienen aparentemente mayor importancia en la aparición de modificaciones indicadas son los fenómenos físicos, expresan una relación entre las respuestas orgánicas y la presión barométrica y las presiones parciales de los gases, particularmente. Se han mencionado además factores raciales, nutritivos etc., cuyo valor aún está por ser establecido.

Durante el crecimiento y desarrollo, el feto depende del suministro de materiales de la madre y de los mecanismos regula-

* Tema presentado en el II Coloquio Interamericano de Anestesiología. Miami, Enero de 1971.

** Profesor y Jefe del Servicio de Anestesiología, Hospital Universitario, Casilla 2912, La Paz, Bolivia.

TABLA I
INDICES FISIOLÓGICOS A DIVERSOS NIVELES DE ALTURA

	0 M(12)	3.650 M(13) La Paz	4.570 M(12) Cerro Pasco	4.700 M(13) Milluni
Pres. barom. mm Hg.	760	500	446	.....
PO ₂ ambiente. mm Hg.	158	105	93.3	.....
PAO ₂ mm Hg.	96,2	.....	46,4	.....
PAO ₂ mm Hg.	87,3	61,6	44,9	59,5
PvO ₂ mm Hg.	44,2	30,6	35,3	30,3
SaO ₂ %	98	91	79	91
PACO ₂ mm Hg.	39,3	.....	30,2	.....
PACO ₂ mm Hg.	40,1	31,1	30,2	31,1
HCO ₂ -art. mEq/l	24	21	19,7	.....
Superficie corporal m ²	1,71	1,56	.....	.....
Cap. Pulm. total	normal	augment.	augment.	augment.
Vent. Pulm. l/m/m ² BTPS ...	4,56	6,3	6,19	.....
Consumo O ₂ STPD ml	240	250	232	.....
Frec. Resp. Mín.	12-14(8)	17,5	.....	18
Hemoglobina g/100	14	16,5	20,1	20,6
Hematocrito %	46	47,7	59,5	60,3
Vol. Sang. ml/k	79,6	72,6(2)	100,5	.....
Vol. Corpus. U ³	82,2	91,2	96,2	90,4
Presión venosa	normal	igual(5)	augment.	.....
Frecuencia pulso Mín.	79,6	dism.	72	.....
Tiempo circulación	normal	igual(1)	augment.	.....

dores que influyen en el suministro, la placenta regula el transporte entre madre feto y mantiene la respiración fetal al proporcionar oxígeno y eliminar el bióxido de carbono.⁴

La captación, el transporte y la eliminación de gases obedece a diferencias de gradiente de presión, pH, cantidad de hemoglobina, circulación, espesor de las membranas, etc.

En el complejo madre-feto existen mecanismos destinados a una mejor captación de los materiales ofrecidos por la circulación materna, mecanismos que se utilizan a cualquier nivel de altura. Estos mecanismos se muestran en la tabla II

basados en la publicación Esteban-Altirriba.⁸

De los parámetros que se muestran en el cuadro anterior uno de los mejores estudiados es la relación: peso placenta-feto. Sobrevilla que hizo un análisis matemático observó que: El análisis de la covarianza influye incrementando el peso de la placenta de manera significativa ($p \pm 0.001$). La pendiente de regresión del peso de la placenta: peso del recién nacido es significativamente diferente en ambas series, el peso promedio del recién nacido es menor en Cerro de Pasco (Lima: 3.556 ± 0.102 vs. Cerro de Pasco 2.996 ± 0.090 , $p = 0.001$ ¹⁵).

Por otra parte el estudio de los registros

TABLA II
MECANISMOS FETO-PLACENTARIOS

- 1.—Aumento del tamaño de la placenta. (Priestowsky)
2. Disminución de peso fetal.
- 3.—Desvío de la curva de disociación del O_2 .
- 4.—Policitemia. Walter y Turnbell)
- 5.—Aumento de la concentración de hemoglobina fetal.
- 6.—Aumento de la perfusión uterina.
- 7.—Exceso del CO_2 : dilatación vasos placentarios=aumento flujo sanguíneo. (Panagel)
- 8.—Liberación de energía en anaerobiosis. (Himwich)
- 9.—"Oxygen conserving adaptation". (Dawes)

de 2,100 partos normales del Servicio de Obstetricia del Hospital Universitario de La Paz, así como una serie 995 placentas estudiadas por Machicao⁹ de la Cátedra de Patología de la misma universidad, son bastante expresivos para demostrar un incremento importante en el peso de la placenta. Por otra parte es evidente que el feto a término en la altura, alcanza un peso menor que a nivel del mar, como se desprende de las series estudiadas por Machicao⁹, Sobrevilla¹⁵ y López y Castaños.

Los datos indicados anteriormente con la relación ponderal feto-placenta se muestra en la tabla III.

Se piensa que la exposición de embarazadas a las grandes alturas podría determinar modificaciones de los gases en sangre fetal debido a una disminución del PO_2 ambiente, que ocasiona la caída de estos valores en la sangre materna y lógicamente la misma tendencia en la sangre fetal. La siguiente tabla tomada de Blechner⁴ demuestra este concepto, después de estu-

TABLA III
RELACION PONDERAL FETO-PLACENTA (Gm)

Autores	0 m Benedetti y Cols(13)	150 M Sobrevilla (15)	3,650 m Machicado (9)	3,650 m López Castaños	4,200 m Sobrevilla (15)
Número	241	26	995	2,100	26
Rango feto .....	.....	.....	.....	2,510 ± 4,500	.....
Rango placenta .....	.....	.....	.....	400 ± 1,560	.....
Peso feto x	3.460 ± 413	3.556 ± 0.102	3.186	3.049 ± 430	2.996 ± 0.090
Peso placenta x	484 ± 101	0.494 ± 0.023	0.588	0.617 ± 128,3	0.511 ± 0.015
Indice fetal	7,14	7,2	5,42	4,84	5,86
Indice placentario	1,41	0,139	0,184	0,202	0,17

dios hechos en cabras y ovejas sometidas a ascenso agudo a grandes alturas.

El estudio de los gases en la circulación de la sangre fetal ofrece muchos problemas de orden técnico, material, legal y ético y los resultados obtenidos aún muestran gran disparidad. En el medio donde trabaja el autor, las mencionadas dificultades son evidentes por el momento y no han permitido establecer con precisión cuáles son los valores normales en la altura. Considerando que los valores de la sangre del cordón umbilical reflejarían lo que ocurre en la sangre fetal se ha iniciado un estudio que servirá de base al criterio que será expuesto

En la tabla IV se muestra los valores obtenidos en comparación con los considerados normales al nivel del mar.

En la observación de los datos anteriores se encuentra: 1) Que el pH de la sangre arterial y venosa del cordón muestran en la altura la misma tendencia hacia el lado ácido aunque en menor intensidad explicable por los valores bajos de CO_2 . 2) La PO_2 es menor que a nivel del mar, lo que se explicaría a través de la hiperventilación materna, normal en la altura. 3) La PO_2 tiene valores que son semejantes a los encontrados a nivel del mar.

Como otro mecanismo de compensación

TABLA IV
GASES EN SANGRE

		ARTERIA	CORDON	VENA	MADRE ARTERIA
PH	0 m	7.28		7.32	7.38
	3.650 m	7.358 ± 0.105	(p=0.05)	7.386 ± 0.02	7.51 ± 0.01
PCO ₂	0 m	52		44	30
	3.650 m	36.17 ± 1.85	(p=0.05)	31.84 ± 4.65	18.5 ± 4.8
PO ₂	0 m	22		31	
	3.650 m	19.67 ± 2.72	(p=0.05)	27.83 ± 4.71	63.33 ± 4.1

Datos al nivel del mar tomados del diapositivo de Caldeyro-Barcia.

posteriormente. Debemos mencionar en este momento que durante el parto normal existen algunos factores como la hiperventilación materna, las contracciones uterinas, etc., que influyen sobre los valores de gases en sangre de cordón, sin embargo es probable que estos factores no lo hagan en forma tan notable como para dar una impresión diferente.

a la baja tensión de O_2 se menciona el incremento de hemoglobina fetal, esto también ocurre en la altura aunque en menor proporción. Ergueta⁶ de la Universidad de La Paz ha estudiado una serie de 286 muestras de sangre de cordón, sus resultados se muestra en la siguiente tabla.

Los anteriores resultados muestran promedios fetales más altos que los normales

TABLA V
INDICES MATEMATICOS EN CORDON

Altura	0 m	3.650 m
Autor	Smith (13)	Ergueta (9)
Glóbulos rojos	4.270.000	5.600.000
Hematocrito	51,3—57,2 %	53 %
Hemoglobina	17 Gm %	17,2 %

para mujeres que viven en la altura, aunque el hematocrito y la cantidad de hemoglobina no son diferentes a los citados para fetos a nivel del mar.

Por todo lo que hasta aquí se ha mostrado, se confirma lo indicado por otros autores (^{6,12}) que el feto en la altura no se desarrolla en condiciones de hipoxia, esto hablando en términos relativos ya que se ha demostrado que tanto a nivel de mar como en la altura las condiciones son similares de baja tensión de O_2 en ambos casos. Para aclarar este concepto es necesario referir los mecanismos que también entran en juego en la altura, a fin de permitir condiciones similares de desarrollo fetal.

1) El aumento de la permeabilidad placentaria ⁴ que se incrementa aún más en ambientes hipóxicos que en ambientes tensiones de O_2 normales, por la formación de capilares adicionales o la abertura de los capilares previamente formados sobre la superficie de las vellocidades. ¹⁰

2) El aumento del tamaño de la placenta. ^{4,9,10}

El desvío de la curva de disociación de oxígeno en feto hacia la izquierda, en relación a la curva materna, lo que le permite una mejor saturación de O_2 . La forma de curva de disociación de O_2 está influida

por el pH de la sangre, a mayores concentraciones del ión hidrogenión (pH más bajo) en la sangre, la afinidad de la hemoglobina por el O_2 disminuye, la curva se vuelve menos recta o desplazada a la derecha. Al contrario una disminución en la concentración de hidrogeniones causa que la curva de disociación de O_2 se desplace a la izquierda. En la placenta este efecto Bohr opera de doble manera al incrementar el gradiente de tensión del O_2 y por lo tanto favorecer la transferencia del O_2 . Como la sangre umbilical deja al CO_2 y los ácidos fijos en la placenta, el pH de esa sangre aumenta y su afinidad por el O_2 también aumenta. Simultáneamente los mismos ácidos entrando en la sangre materna originan disminución del pH y afinidad por el O_2 , como una causa que da mayor entrega de O_2 . ¹⁰

4) Aumento del flujo sanguíneo uterino, estimado en un 35% en la altura ^{4,8,10} sería un mecanismo importante de compensación parcial para permitir una oxigenación fetal adecuada. ⁴

5) Aumento de la concentración de hemoglobina fetal ^{4,6,8,10} y la presencia de hemoglobina F ⁷ lo que determina la captación de mayor volumen de O_2 .

6) Disminución del tamaño fetal que

origina un menor consumo total de O_2 ^{4,10} y menor producción total de CO_2 .

Estos ajustes permiten al feto expuesto de manera crónica a las grandes alturas vivir en una presión baja de oxígeno y obtener una cantidad de ese gas que no difiere de manera importante de la que recibe el feto a nivel del mar.⁶

Finalmente cuando existen condiciones de verdadera hipoxia como las originadas por insuficiencia respiratoria crónica, anemia, etc., entrarían en juego otros mecanismos como el metabolismo anaeróbico y la centralización de O_2 a los órganos y tejidos donde es más indispensable a través de vasoconstricción en aquellas zonas donde es menos indispensable.^{4,8,10}

La revisión de la bibliografía disponible mostró que el estudio de este apasionante aspecto, a cualquier nivel de altura, ha despertado gran interés entre los investigadores; las diferentes técnicas usadas y los variados procedimientos que se han seguido muestran, como ya se dijo, resultados dispares que hacen muy difíciles las comparaciones, por otra parte las dificultades técnicas, materiales y humanas, son por el momento un serio obstáculo para poder universalizar esta investigación. No obstante lo anterior es posible reiterar el concepto de que el feto en la altura no se desarrolla en condiciones de hipoxia.

SUMMARY

Different techniques have been used to study this problem and have shown different results, so comparison is difficult.

Technical, material and human difficulties constitute a serious obstacle to universalize this investigation. In spite of this, it is possible to say that the fetus in the altitude does not deal in conditions of hypoxia.

REFERENCIAS

1. Aparicio, E.: Velocidad circulatoria en La Paz. *Prensa Médica*, 18: 131, 1966.
2. Barragán, L.: Comunicación personal.
3. Benedetti, W. L., Alvarez H., y Scavarelli M.: Evolución del peso fetal y placentario durante el embarazo humano en el Uruguay. *Arch. Gin. Obste.* 24: 5, 1966.
4. Blechner, J. N.: Transporte placentario de gases. *Clinicas Obstétricas y Ginecológicas*. Edit. Interamericana. Pág. 1165. Dic. 1968.
5. Botelho, V.: La presión en la altura. Publicación del Congreso Nacional Bodas de Oro del Ateneo de Medicina de La Paz. 79. 1966.
6. Ergueta, J.: Comunicación personal.
7. Ergueta, J., Gutiérrez N.: Investigación de hemoglobina fetal en recién nacidos y residentes adultos a 3,600 mts de altura. *Cuadernos Hosp.* Vol. Pág. 11. 1970.
8. Esteban-Altirriba y Cols.: Sufrimiento fetal en el parto. Pág. 23. Edit. Jims. 1967.
9. Machicao N.: Relación ponderal feto-placenta en la altura (por publicarse).
10. Metcalfe, J.: Placental Gas Transfer. *Anesthesiology*, 26: 460, 1965.
11. Persianinov, L.: Asfixia del recién nacido y del feto. Edit. Mir. Moscú 1970.
12. Safar, P., y Tenicela R.: High altitude Physiology in relation to anesthesia an inhalation therapy. *Anesthesiology*, 25: 515, 1964.
13. Salguero, H., Medina, G., Loroño, R., Chinchilla, J., y Quintanilla, J.: Espirometría, gases en sangre e índices hematológicos normales a 3,600 y 4,700 mts de altura sobre el nivel del mar. *Salud ocupacional* 1: 29. 1967.
14. Smith, C.: Fisiología del recién nacido. Pág. 140. Edit. Vergara. Buenos Aires 1955.
15. Sobrevilla, L.: Análisis matemático de la relación placenta: recién nacido en el embarazo en la altura. Resúmenes del II Congreso Bolivariano de Endocrinología. Pág. 120. Lima. 1969.