

# Gasimetría arterial en población adulta sana de la ciudad de Medellín

Héctor Ortega, Amira Millán, Gladys Elena Mesa · Medellín

**Objetivo:** determinar los valores de gasimetría arterial en población adulta sana entre 20 y 45 años de edad en la ciudad de Medellín a 1.538 metros sobre el nivel del mar, con una presión barométrica de 640 mmHg.

**Diseño:** estudio descriptivo de corte transversal.

**Material y métodos:** se evaluaron individuos voluntarios sanos con edades entre 20 y 45 años, con examen físico y espirometría normales, residentes en la ciudad de Medellín por un período mínimo de un año antes del ingreso al estudio. Se les tomó muestra de sangre arterial obtenida de la arteria radial y se midió PH, PaC<sub>2</sub>, PaCC<sub>2</sub> y HCC<sub>3</sub>. Simultáneamente se realizó análisis del gas espirado para la determinación de los valores de consumo de oxígeno (VC<sub>2</sub>) y la producción de CO<sub>2</sub> (VCC<sub>2</sub>) para el cálculo del cociente respiratorio (VCC<sub>2</sub>/VC<sub>2</sub>) y del espacio muerto fisiológico (VD/VT) mediante la aplicación de la ecuación de Bohr.

**Resultados:** se incluyeron 76 individuos cuyos valores promedio para los diferentes parámetros de gasimetría arterial fueron: PH: 7.42 ; PaC<sub>2</sub>= 80.82 mmHg; PaCC<sub>2</sub>= 31.68 mmHg; HCC<sub>3</sub>= 20.37 meq/lit. Los resultados obtenidos en el análisis del gas espirado fueron: cociente respiratorio (R= VC<sub>2</sub>/VCC<sub>2</sub>) = 0.851; el espacio muerto fisiológico (VD/VT) = 0.29 y la diferencia-alvéolo arterial de oxígeno promedio de 6.45 mmHg. La tasa de declinación de la PaC<sub>2</sub> con la edad fue de 0.106 mmHg por año.

**Conclusión:** los valores de gasimetría arterial obtenidos en este estudio pueden ser utilizados como referencia para la población adulta sana entre los 20 y los 45 años de edad en poblaciones residentes en altitudes cercanas a los 1.500 metros sobre el nivel del mar. (*Acta Med Colomb* 2002; 27: 98-102).

**Palabras clave:** gasimetría arterial, gases arteriales, valores normales.

## Introducción

El análisis de los gases arteriales ha desempeñado un papel importante en el manejo de los pacientes con enfermedades cardiopulmonares en los últimos 30 años. Este examen ha permitido evaluar la función respiratoria en términos de oxigenación, ventilación y calidad del intercambio gaseoso, además de aportar información fundamental para el análisis del estado ácido-base del organismo.

A medida que se asciende sobre el nivel del mar, la presión barométrica disminuye provocando una reducción proporcional en la presión inspirada de oxígeno (PIQ<sub>2</sub>) y en la presión alveolar de oxígeno (PAQ<sub>2</sub>), como se deduce fácilmente de la ecuación del gas alveolar:

$$PAQ_2 = FIO_2 (PB - PH_2O) - PACO_2 (FIO_2 + (1 - FIO_2) / R) \quad (\text{ecuación 1})$$

PAO<sub>2</sub>= Presión alveolar de oxígeno.

FIO<sub>2</sub>= Fracción inspirada de oxígeno.

PB= Presión barométrica

PH<sub>2</sub>O= Presión de vapor de agua en la tráquea a 37°C (47 mmHg)

PACO<sub>2</sub>= Presión alveolar de CO<sub>2</sub>

R= Cociente respiratorio (VCO<sub>2</sub> / VO<sub>2</sub>)

VO<sub>2</sub>= Consumo de oxígeno

VCO<sub>2</sub>= Producción de CO<sub>2</sub>.

Esta reducción puede ser lo suficientemente significativa como para provocar la estimulación de los quimiorreceptores periféricos, con incremento de la ventilación alveolar, reducción de la PaCO<sub>2</sub> y cambios secundarios en el PH sanguíneo y en los niveles séricos de bicarbonato (1-5). Son estos cambios relacionados con la altitud los que hacen necesaria la determinación de los valores normales a diferentes alturas sobre el nivel del mar. En Colombia se han publicado cuatro estudios sobre valores de gasimetría arterial en población adulta sana, todos reali-

Ft0J 2 evqtQtvgi cTctco kmq<IghgTg'reUgeekpTgP gwo qmji ¶c."J quirkriWpikgtulsc/tkUcpXlegpvTg'ReÀ0RtqhguqtCukagpv."WpikgtulcfTgCpikqslc=NleuCo ktc" O kufpT ² pfctc."I nrf (u'Grpc'O gucT »o gl <Dcevgtlnqi cu.'Ncdqtcvqtq'Rvno qpct." UgeekpTgP gwo qmji ¶c."J quirkriWpikgtulscUcpXlegpvTg'ReAnWpikgtulcfTg' Cpikqslc00gf gmfP0

zados en la ciudad de Bogotá (2.640 metros sobre el nivel del mar con presión barométrica de 560 mmHg) (6-9). No se encuentran estudios realizados en ningún otro sitio del país. Por ello, decidimos realizar este estudio en la ciudad de Medellín a 1.538 metros sobre el nivel del mar con presión barométrica de 640 mmHg con el fin de obtener valores de referencia que permitan un adecuado análisis de la información contenida en la gasimetría arterial.

### Material y métodos

El estudio se realizó en la sección de neumología del Hospital Universitario San Vicente de Paúl de la ciudad de Medellín, la cual está localizada a una altitud de 1.538 metros sobre el nivel del mar con una presión barométrica de 640 mmHg, en voluntarios sanos, previa obtención de consentimiento informado. El tamaño de la muestra se calculó teniendo en cuenta la población del área metropolitana del Valle de Aburrá, proyectada al 30 de junio de 1999, según información obtenida de la Secretaría de Salud de la ciudad de Medellín, en 2.064.195 habitantes; se buscó una precisión de  $\pm 2$  mmHg con una desviación estándar de 4.44 obtenida de los trabajos nacionales publicados y de una muestra piloto realizada en nuestra sección de neumología. Como el 60% de la población está comprendido entre los 20 y los 45 años de edad, la muestra se distribuyó en grupos iguales de 15 personas con intervalos de cinco años. Todos los voluntarios participantes respondieron un cuestionario elaborado para la detección de antecedentes personales y la presencia de síntomas respiratorios. Se les practicó además examen físico general, y curva flujo-volumen y espirometría utilizando un Spiroanalizer ST 250 Futuremed, siguiendo el protocolo de la American Thoracic Society (ATS) para la realización de dichas pruebas (10). Para el cálculo de los valores normales se utilizaron las ecuaciones de Knudson (11). Se consideraron normales los valores por encima del 80% del valor predicho para los parámetros de capacidad vital forzada (CVF) y volumen espiratorio forzado en un segundo (VEF1) y por encima del 70% para los valores del flujo espiratorio máximo medio (FEMM o FEF 25 - 75), flujo espiratorio máximo 50 (FEM 50) y el flujo espiratorio máximo 75 (FEM 75). Para la relación VEF1 / CVF se aceptaron aquellos voluntarios con cociente mayor de 0.75 (75%) (12).

Los criterios de inclusión al estudio fueron: hombres y mujeres con edades entre 20 y 45 años, sin historia de enfermedad pulmonar crónica, sin antecedente de infección respiratoria en las cuatro semanas previas al ingreso al estudio, con una permanencia mínima en la ciudad de Medellín de un año antes del ingreso al estudio y sin historia de consumo de cigarrillo mayor de diez paquetes/año, siempre y cuando su consumo se hubiera interrumpido mínimo un año antes del ingreso al estudio; examen físico cardiopulmonar normal, y espirometría y curva-flujo volumen normales de acuerdo con los parámetros previamente mencionados.

El estudio se realizó con el sujeto sentado y la toma de las muestras se inició después de un período de adaptación y reposo de 15 minutos. Se recolectó el gas espirado en un Spirometer Kit de Salter Labs a través de una boquilla con válvula unidireccional en una bolsa de diez litros, con la nariz ocluida mientras se registraba la frecuencia respiratoria y el tiempo hasta llenar la bolsa, es decir, hasta alcanzar un volumen de aire espirado de diez litros. Al terminar la recolección del gas espirado, se obtuvo la muestra de sangre arterial mediante la punción directa de la arteria radial con aguja calibre 21. A la jeringa utilizada para la toma de la muestra se le agregó 0.1 mililitros de heparina como anticoagulante y la muestra obtenida se procesó en un equipo analizador de gases arteriales Radiometer Copenhagen ABL3.

De la muestra de sangre arterial se evaluaron los siguientes parámetros: PH, presión arterial de oxígeno (PaO2), presión arterial de dióxido de carbono (PaCO2) y bicarbonato (HCO3). De la muestra de aire espirado se obtuvieron las fracciones espiradas de oxígeno (FEO2) y de dióxido de carbono (FECO2) y se realizaron los siguientes cálculos:

<b>Volumen minuto (VE)=</b>	$\frac{\text{Volumen de aire espirado recolectado (diez litros)}}{\text{Tiempo en minutos}}$
<b>Volumen corriente (VC)=</b>	$\frac{\text{Volumen minuto (VE)}}{\text{Frecuencia respiratoria (Fr)}}$
<b>Consumo de oxígeno (VO2)</b>	$= \text{Volumen minuto} \times \text{FIO}_2 - \text{Volumen minuto} \times \text{FEO}_2$
<b>Producción de dióxido de carbono (VCO2)</b>	$= \text{Volumen minuto} \times \text{FECO}_2 - \text{Volumen minuto} \times \text{FICO}_2$
<b>Cociente respiratorio (R)</b>	$= \text{VCO}_2 / \text{VO}_2$
<b>Diferencia alvéolo-arterial de oxígeno (P (A-a)O2)</b>	$= \text{P(A-a) O}_2 = \text{Presión alveolar de oxígeno (PAO}_2) - \text{Presión arterial de oxígeno (PaO}_2)$
	$\text{PAO}_2 = \text{FIO}_2 (\text{Presión barométrica} - 47) - \text{PACO}_2 (\text{FIO}_2 + \frac{1 - \text{FIO}_2}{\text{R}})$
<b>Porcentaje de ventilación de espacio muerto (VD / VC %)</b>	$= \frac{\text{PaCO}_2 - \text{PECO}_2}{\text{PaCO}_2}$ (Ecuación de Bohr)

El procesamiento de los datos se realizó mediante la utilización de Epi Info versión 6.04,

### Resultados

Se estudiaron 80 voluntarios con edades entre los 20 y los 45 años, 50 mujeres y 30 hombres. De éstos fueron excluidos cuatro individuos de sexo masculino por no cumplir con los criterios de espirometría y curva flujo-volumen. Cumplieron criterios de inclusión 76 sujetos con una edad promedio de 32.17 años, 50 mujeres (65.8%) y 26 hombres (34.2%). Los valores obtenidos en el estudio de la sangre arterial se muestran en la Tabla 1.

El valor promedio del cociente respiratorio (R) de 0.851 sugiere que no existe en los valores obtenidos de los volun-

Tabla 1. Valores obtenidos en 76 voluntarios sanos en la ciudad de Medellín, a 1.538 metros sobre el nivel del mar.

Valores de gasimetría arterial en población adulta sana de la ciudad de Medellín					
	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Intervalo de confianza 95%
PH	7.42	0.017	7.38	7.472	7.416 - 7.424
PaO2 (mmHg).	80.82	4.173	71.2	94.0	79.73 - 81.57
PaCO2 (mmHg).	31.68	2.85	24.8	37.4	31.06 - 32.35
HCO3 (meq/lit).	20.37	1.66	16.3	23.5	20.02 - 20.78
R	0.851	0.096	0.67	1.1	0.825 - 0.87
P(A-a)O2 (mmHg).	6.456	3.949	0.0	15.86	5.54 - 7.41

El cociente respiratorio (R) se calculó con base en los valores obtenidos del estudio del aire espirado ( $VCO_2 / VO_2$ ). La diferencia alvéolo-arterial de oxígeno (P(A-a)O<sub>2</sub>) se calculó de acuerdo con la ecuación del gas alveolar (ecuación 1) a cuyo resultado se le restó la PaO<sub>2</sub>.

taños estudiados un efecto significativo atribuible a la hiperventilación aguda. Sin embargo, la PaCQ2 promedio de 32.17 mmHg es inferior a los niveles observados a nivel del mar donde la PaCQ2 normal es de 40 mmHg al igual que los niveles de bicarbonato (HCQ3), con una media de 20.37 meq/litro, lo que sugiere un incremento crónico de la ventilación alveolar probablemente atribuible al efecto de la altitud (1-5).

En la Tabla 2 se presentan los valores promedio de PaQ2, PaCQ2, bicarbonato y diferencia alvéolo-arterial de oxígeno para cada grupo de edad. Es clara la tendencia a disminuir la PaQ2 a medida que se incrementa la edad, con niveles relativamente estables de ventilación alveolar (Figura 1). Paralelamente se observa la tendencia al incremento de la diferencia alvéolo-arterial de oxígeno en relación con la edad (Figura 2).

Tabla 2. Valores promedio de gasimetría arterial relacionados con la edad.

Edad (años)	PaO2 (mmHg)	PaCO2 (mmHg)	HCO3 (meq/litro)	P (A - a) O2 (mmHg)
20 - 24	82.45	31.50	20.01	4.8
25 - 29	81.35	31.7	20.38	8.5
30 - 34	80.58	32.3	20.72	5.69
35 - 39	79.83	31.48	20.32	6.43
40 - 45	79.80	29.22	20.44	7.41

La Tabla 3 muestra los valores relacionados con la ventilación y actividad metabólica, derivados del análisis del gas espirado. La ventilación de espacio muerto fisiológico ( $VD / VT$ ) promedio, calculada mediante la ecuación de Bohr de 0.29, se correlaciona estrechamente con el valor aceptado tradicionalmente como normal para individuos sanos en reposo (1-5).

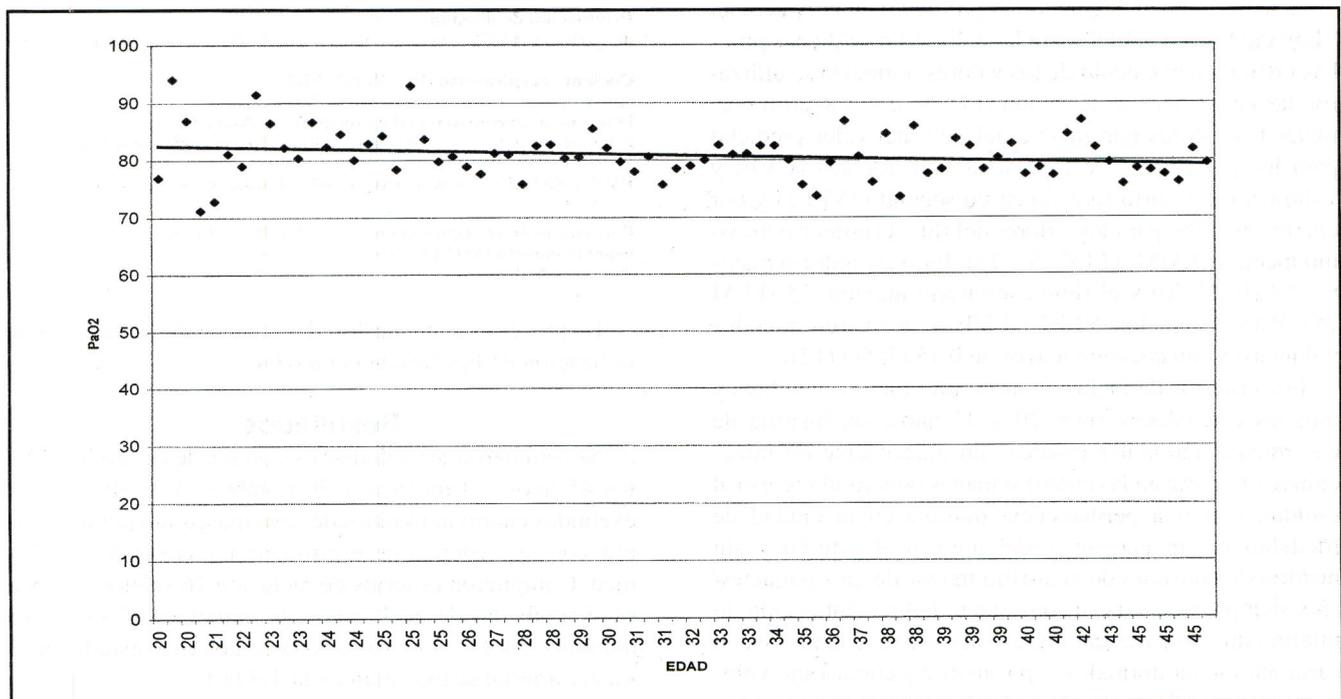


Figura 1. Relación entre la PaQ2 y la edad. Se observa la tendencia a disminuir la PaQ2 con el incremento de la edad a una tasa de 0.106 mmHg por año.

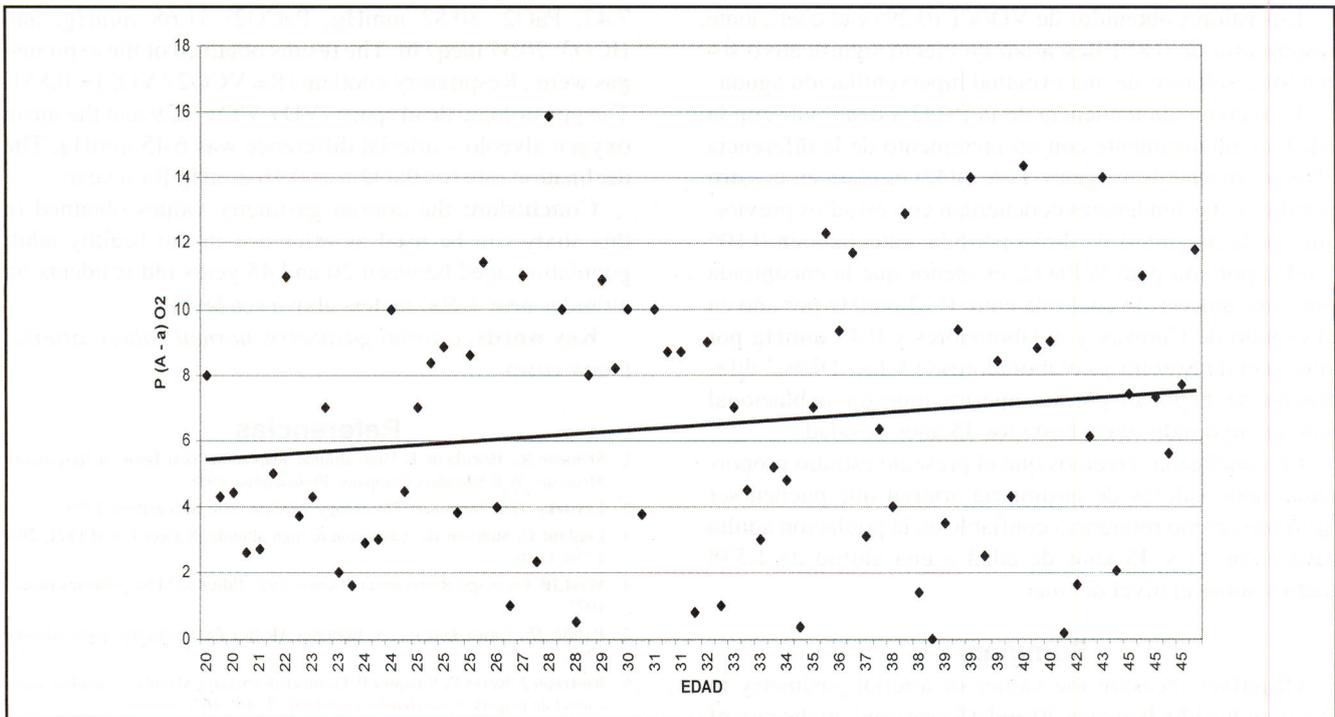


Figura 2, Se observa la tendencia de la diferencia alvéolo-arterial de oxígeno (P(A-a)O<sub>2</sub>) a incrementarse con la edad.

Tabla 3. Valores relacionados con parámetros de ventilación y actividad metabólica obtenidos del análisis del gas espirado.

	Promedio	Desviación estándar	Máximo	Mínimo
VE (lits/min)	10.095	3.139	18.20	5.00
VD/VT	0.290	0.078	0.46	0.08
VO <sub>2</sub> (lits/min)	0.382	0.092	0.76	0.205
VCO <sub>2</sub> (lits/min)	0.331	0.092	0.599	0.162
VO <sub>2</sub> /VCO <sub>2</sub> (R)	0.851	0.096	1.10	0.670

VE= Ventilación minuto.  
 VD/VT= Relación de ventilación de espacio muerto y volumen corriente calculada mediante la ecuación de Bohr.  
 VO<sub>2</sub> = Consumo de oxígeno.  
 VCO<sub>2</sub> = Producción de CO<sub>2</sub>.  
 R= Cociente respiratorio.

### Discusión

Varios investigadores han demostrado que la ventilación minuto y la ventilación alveolar aumentan en forma directamente proporcional a la altura sobre el nivel del mar, en respuesta a la disminución progresiva de la presión inspirada de oxígeno como consecuencia de los cambios registrados en la presión barométrica. Estos cambios se reflejan en los valores de gasimetría arterial, caracterizados por disminución de la PaCO<sub>2</sub> como expresión del incremento de la ventilación alveolar, como consecuencia de la estimulación de los quimiorreceptores periféricos. Además, como respuesta al efecto sobre el PH relacionado con el incremento de los niveles de ventilación, se reducen los niveles de bicarbonato (1-5). Nuestro estudio demuestra

Tabla 4. Cuadro comparativo de los valores de gasimetría arterial a diferentes alturas sobre el nivel del mar.

	Lima	México	Bogotá	Medellín
Altitud (metros)	137	2.240	2.640	1.538
P. B. (mmHg)	750	580	560	640
PIO <sub>2</sub> (mmHg)	147.63	111.93	107.73	124.53
PH	7.41	7.40	7.38	7.42
PaO <sub>2</sub> (mmHg)	97.3	70.0	66.7	80,82
PaCO <sub>2</sub> mmHg	40.0	30.0	29.5	31.68
HCO <sub>3</sub> (meq/L)	19.5	18.0	16.9	20.37
P(A-a)O <sub>2</sub> mmHg	6.5	--	6.9	6.9

PIO<sub>2</sub> = Presión inspirada de oxígeno.

efectivamente niveles de ventilación alveolar mayores que los encontrados a nivel del mar los cuales se expresan en una PaCO<sub>2</sub> más baja pero al mismo tiempo menor que la encontrada en diferentes estudios a mayor altitud como los realizados en Bogotá (2.640 metros) y en Ciudad de México (2.240 metros), con valores de PaCO<sub>2</sub> y bicarbonato intermedios entre los obtenidos a nivel del mar y a mayor altitud (Tabla 4) (6-9).

Los resultados obtenidos se correlacionan bien con otros estudios realizados a diferentes altitudes, que muestran las variaciones esperadas por la diferencia en la presión barométrica. Igualmente, nuestros valores son similares a los obtenidos en el estudio de Crapo y colaboradores, realizado en una población a 1.400 metros sobre el nivel del mar (16).

Los valores obtenidos de VD/VT (0.29) y el coeficiente respiratorio de 0.851 descartan un efecto significativo sobre los resultados de una eventual hiperventilación aguda.

La reconocida tendencia de la PaO<sub>2</sub> a disminuir con la edad simultáneamente con un incremento de la diferencia alvéolo-arterial de oxígeno (P(A-a)O<sub>2</sub>) es clara en nuestro estudio. Estas tendencias concuerdan con estudios previos, aunque la magnitud de dicha pérdida, calculada en 0.106 mmHg por año para la PaO<sub>2</sub>, es menor que la encontrada por otros autores, la cual está entre 0.22 mmHg por año en el estudio de Conway y colaboradores y 0.43 mmHg por año en el de Sorbini y colaboradores (13-16). Dichas diferencias se explican porque nuestra muestra poblacional sólo incluyó individuos hasta los 45 años de edad.

En conclusión, creemos que el presente estudio proporciona unos valores de gasimetría arterial que pueden ser utilizados como referencia confiable en la población adulta sana entre 20 y 45 años de edad a una altitud de 1.538 metros sobre el nivel del mar.

### Summary

**Objective:** measure the values of arterial gasimetry in the adult healthy between 20 and 45 years old, in the city of Medellín, 1.538 meters above sea level with a barometric pressure of 640 mmHg.

**Design:** Descriptive study of transversal cut.

**Methods and material:** volunteer healthy individuals aged between 20 and 45 years old were evaluated, with normal physical examination and spirometry, residents in the city of Medellín by a minimal period of one year before the study admission. Arterial blood samples were taken from the radial artery and PH, PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub> and HCO<sub>3</sub> were measured. Simultaneously it was made an analysis of expired gas for the determination of the values of oxygen intake (VO<sub>2</sub>) and the production of CO<sub>2</sub> (VCO<sub>2</sub>) for the calculation of the respiratory quotient (VCO<sub>2</sub> / VO<sub>2</sub>) and the physiologic dead space (VD / VT) by the application of the Bohr's equation.

**Results:** the mean values for the different parameters of arterial gasimetry of the 76 individuals included were: PH:

7.42; PaO<sub>2</sub>: 80.82 mmHg; PaCO<sub>2</sub>: 31.68 mmHg; and HCO<sub>3</sub>:20.37 meq / lit. The results obtained of the expired gas were : Respiratory quotient (R= VCO<sub>2</sub> / VO<sub>2</sub>) = 0.851, The physiologic dead space (VD / VT)= 0.29 and the mean oxygen alveolo - arterial difference was 6.45 mmHg. The declination rate for PaO<sub>2</sub> was 0.16 mmHg for a year.

**Conclusion:** the arterial gasimetry values obtained in this study can be used as reference in the healthy adult population aged between 20 and 45 years old residents on altitudes near 1.500 meters above sea level.

**Key words:** arterial gasimetry, normal values, arterial blood gases.

### Referencias

1. Schoene R., Hornbein T. High altitude adaptation. Text Book of Respiratory Medicine. W.B Saunders Company. Philadelphia. 1988.
2. Levitzky MG. Pulmonary Physiology. McGraw Hill fifth edition. 1999.
3. Lenfant C, Sullivan K. Adaptation to high altitude. *Engl J Med* 1971; **284**: 1.298-1.308.
4. West JB. Fisiología Respiratoria. Buenos Aires. Editorial Médica Panamericana. 1977.
5. Patiño JF. Gases sanguíneos. Editorial Médica Panamericana sexta edición. 1998.
6. Restrepo J, Reyes P, Vasquez P. Gasimetría arterial y alveolar en adultos sanos a nivel de Bogotá. *Acta Med Colomb* 1982; **7**: 461-467.
7. Acevedo LE, Solarte I. Gasimetría arterial en adultos jóvenes a nivel de Bogotá. *Acta Med Colomb* 1984; **9**: 7-14.
8. Osorio P. Gasimetría arterial en Bogotá. Trabajo presentado en el VI Congreso Colombiano de Medicina Interna. Resúmenes VI Congreso, 1980; 46 R, 195.
9. Duran M, Grandas NF, Reyes P. Gasimetría arterial en adultos jóvenes sanos en Bogotá. *Rev Colomb Neumol* 1993; **5**: 73-77.
10. American Thoracic Society. Standardization of Spirometry. 1.994 Update. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; **152**: 1107-1.136.
11. Knudson RJ, Statin RC, Lebowitz MD, Burrows . The maximal expiratory flow-volume curve. Normal standards, variability, and effects of age. *Am Rev Respir Dis* 1976; **113**: 587-600.
12. American Thoracic Society. Lung Function testing: Selection of reference values and interpretative strategies. *Am Rev Respir Dis* 1991; **144**: 1202-1218.
13. Conway CM, Payne JP, Tomlin PJ. Arterial oxygen tension of patient awaiting surgery. *Br J Anaesth*. 1965; **37**: 405-408.
14. Sorbini LA, Grass V, Solina E, Muiasan G. Arterial Oxygen tension in relation to age healthy subjects. *Respiration* 1968; **25**: 3-13.
15. Cerveri I, Zoia F, Fanfulla L, Spagnolatti M, Berraych M, Tinelli C. Reference values of arterial oxygen tension in the middle age and elderly. *Am Rev Respir Crit Care Med* 1995; **152**: 934-941.
16. Crapo RO, Jensen RL, Mathew H, Tushkin D. Arterial Blood Gas Reference Values for Sea Level and an altitude of 1.400 meters. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; **160**: 1.525-1.531.