

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN: CARDIONEUMOLOGÍA

**Utilidad de la gasometría capilar para evaluar el intercambio gaseoso con  $\text{FiO}_2$  al 21% y al 100% en el sujeto con enfermedad cardiopulmonar estable a 2,240 metros sobre el nivel del mar**

Luis-Efrén Santos-Martínez<sup>a,\*</sup>, María Luisa Martínez-Guerra<sup>b</sup>, Aída Duran<sup>b</sup>, Francisca Rodríguez<sup>b</sup>, José Gotés<sup>a</sup>, Ivonne Roquet<sup>a</sup>, Luis Antonio López<sup>a</sup>, Alicia Pulido<sup>a</sup>, Eulo Lupi<sup>c</sup>, Edgar Bautista<sup>a</sup>, Tomás Pulido<sup>a</sup> y Julio Sandoval<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Cardiomedicina, Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, Tlalpan, México D.F., México

<sup>b</sup>Laboratorio de Pruebas de Función Respiratoria, Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, Tlalpan, México D.F., México

<sup>c</sup>Subdirección de Investigación Médica, Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, Tlalpan, México D.F., México

Recibido el 17 de julio de 2008; aceptado el 25 de noviembre de 2008.

**PALABRAS CLAVE**

Capilares sanguíneos;  
Gases sanguíneos;  
Pruebas con sangre  
arterializada

**Resumen**

**Objetivos:** La determinación de gases capilares ha tenido amplio uso en la población infantil. En población adulta, la información es limitada y controversial. La concordancia entre gases capilares y arteriales parece mantenerse con el potencial hidrógeno (pH) y la presión de dióxido de carbono en diversas poblaciones estudiadas. Para conocer el grado de acuerdo entre estos gases, los estudiamos con fracciones inspiradas de oxígeno ( $\text{FiO}_2$ ) al aire ambiente y 100% a 2,240 metros sobre el nivel del mar.

**Métodos:** Se determinaron, en sujetos con enfermedad cardiopulmonar estable, los gases de manera simultánea en ambas condiciones de oxígeno inspirado. Se acotaron variables demográficas, hemodinámicas, diagnósticas y de laboratorio. En el análisis estadístico, el acuerdo se analizó mediante el coeficiente de correlación intraclass y el procedimiento de Bland y Altman.

**Resultados:** Estudiamos a 101 sujetos, 48 varones y 53 mujeres, cuyas edades  $\pm$  desviación estándar fueron de  $55 \pm 16$  frente a  $56 \pm 16$  años. La presión arterial sistémica media fue de  $94,96 \pm 10,57$  mmHg y la hemoglobina de  $15,94 \pm 2,48$  g/dL. El acuerdo entre las variables con  $\text{FiO}_2$  al 21 y al 100% (diferencia media) fueron, respectivamente: pH, 0,94 (0,0091) y 0,94 (0,0039); presión de oxígeno, 0,90 (2,94) y 0,84 (74,99); presión de dióxido de carbono, 0,97 (0,079) y 0,97 (0,179); bicarbonato, 0,93 (-0,067) y 0,96 (0,262); dióxido de carbono disuelto total, 0,94 (-0,142) y 0,93 (0,161); exceso de base, 0,94 (-0,125) y 0,92 (0,235); saturación de oxígeno, 0,98 (0,764) y 0,97 (0,202).

\*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [sanlui@cardiologia.org.mx](mailto:sanlui@cardiologia.org.mx) (L.E. Santos-Martínez).

**Conclusiones:** La gasometría capilar podría ser una alternativa útil a la arterial; sin embargo, está limitada por el bajo acuerdo con la presión de oxígeno a ambas fracciones inspiradas de oxígeno.

© 2008 Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez. Todos los derechos reservados.

#### KEYWORDS

Capillary blood gas test;  
Blood gas analysis;  
Arterialized blood test

#### Capillary blood gas test usefulness to evaluate gas exchange with 21% and 100% of oxygen inspired fractions in subjects with stable cardiopulmonary disease at 2,240 meters above sea level

#### Abstract

**Objective:** Capillary blood gas test has had ample use in the infantile population. In the adult population, the information is limited and controversial. The agreement between capillary-arterial gases seems to parallel the pH and the carbon dioxide pressure in different studied populations. In order to know the degree of agreement between these gases, we evaluate them at breathing room air and at 100% of oxygen fractions at 2,240 meters above sea level.

**Methods:** We obtained capillary-arterial blood gases simultaneously from subjects with stable cardiopulmonary disease in both conditions of inspired oxygen. Demographic, hemodynamic, diagnostic, and laboratory variables were gathered. Statistical analysis: agreement was analyzed with the intraclass correlation coefficient and the Bland-Altman procedure.

**Results:** We studied 101 subjects, 48 men and 53 women, whose respective ages were  $55 \pm 16$  and  $56 \pm 16$ . Mean systemic arterial pressure was  $94.96 \pm 10.57$  mmHg. Hemoglobin was  $15.94 \pm 2.48$  g/dl. The agreement between the variables with the inspired oxygen fractions, 21%, 100%, and the mean difference in parenthesis was respectively: potential hydrogen, 0.94 (0.0091), 0.94 (0.0039); oxygen pressure, 0.90 (2.94), 0.84 (74.99); carbon dioxide pressure, 0.97 (0.079), 0.97 (0.179); bicarbonate, 0.93 (-0.067), 0.96 (0.262); total dissolved carbon dioxide, 0.94 (-0.142), 0.93 (0.161); base excess: 0.94, (-0.125), 0.92 (0.235); oxygen saturation, 0.98 (0.764), 0.97 (0.202).

**Conclusions:** Capillary blood gas test could be a useful alternative to the arterial one, nevertheless, it is limited by its low agreement with the oxygen pressure in both oxygen inspired fractions.

© 2008 Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez. All rights reserved.

## Introducción

Diferentes entidades que afectan al corazón o al pulmón se acompañan de alteraciones respiratorias, del intercambio gaseoso (IG) o el equilibrio ácido-base. En nuestro departamento, estas alteraciones habitualmente se evalúan mediante pruebas de función respiratoria (PFR), que comprenden la determinación de volúmenes y flujos pulmonares, con o sin respuesta a un fármaco broncodilatador, y la evaluación del IG en reposo con fracción inspiratoria de oxígeno ( $\text{FiO}_2$ ) al 21 y al 100% o en condiciones de ejercicio<sup>1</sup>. El IG requiere, para su evaluación, obtener gasometrías arteriales<sup>1,2</sup>, ya sea por punción o mediante la colocación de un catéter arterial, las más de las veces, en la arteria radial<sup>1</sup>. El procedimiento no está exento de complicaciones graves<sup>3</sup>, además del dolor ocasionado al paciente con la punción arterial<sup>4</sup>.

Previamente se ha referido la utilidad de la gasometría capilar en niños para conocer su IG<sup>5</sup>. Esta técnica tuvo aceptación y en la actualidad tiene amplio uso, aun en las unidades de cuidados intensivos pediátricas<sup>6-8</sup>. Debido a los buenos resultados obtenidos en estos estudios, el conocimiento fue extrapolado a sujetos adultos en la práctica diaria. Alrede-

dor de la década de 1960 se realizaron estudios para evaluar en el sujeto adulto la utilidad de los gases sanguíneos (GS) obtenidos de una muestra capilar comparada con la muestra arterial en diversas patologías<sup>9-14</sup>. Estos estudios tuvieron una limitada aplicación por el tamaño muestral utilizado, así como por el método de análisis; las conclusiones obtenidas han sido cuestionadas. A partir de la década mencionada se hizo referencia a la comparabilidad entre los GS obtenidos de la arteria y el capilar<sup>9-13</sup>. Los procedimientos estadísticos utilizados para probar la similitud entre ellas fueron diversos: prueba t pareada<sup>12,14</sup>, diferencias de medias<sup>4,11-13</sup>, correlación de Pearson<sup>15-17</sup>, regresión lineal simple<sup>9,18</sup> y procedimiento de Bland y Altman<sup>15-17,19</sup>. En algunos de estos estudios<sup>4,11-13,19</sup> hubo un aparente buen acuerdo de las gasometrías capilares con las gasometrías arteriales. En otros<sup>9,14-18</sup>, esta similitud permaneció sólo para el potencial hidrógeno capilar (pHc) y la presión capilar de dióxido de carbono ( $\text{PcCO}_2$ ), no así para la determinación de la presión capilar de oxígeno ( $\text{PcO}_2$ ). Hay desacuerdo en que la  $\text{PcO}_2$  pueda sustituir a la presión arterial de oxígeno ( $\text{PaO}_2$ ), independientemente del sitio capilar muestreado<sup>4,9,11-19</sup>, en condiciones de reposo<sup>4,9,11-16,19</sup> e incluso en ejercicio<sup>17,18</sup>.

Dada la limitada información del IG a nivel capilar en sujetos adultos, el potencial riesgo que existe con la punción o la inserción de un catéter en la arteria radial en los estudios de PFR, además del tiempo, el personal y el entrenamiento que se requieren para la colocación de un catéter arterial, decidimos estudiar el grado de acuerdo que existe entre las gasometrías arteriales frente a las gasometrías capilares con  $\text{FiO}_2$  al 21 y al 100% en sujetos adultos con enfermedad cardiopulmonar estable, con la finalidad de conocer la utilidad de la gasometría capilar como posible sustituto de la gasometría arterial en las PFR realizadas en nuestro laboratorio.

## Material y métodos

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de Fisiología respiratoria del Departamento de Cardioneumología del Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez.

Diseño: estudio de concordancia.

## Población de estudio

Se estudió a sujetos consecutivos con enfermedad cardiopulmonar en condición estable, a quienes al mismo tiempo se les realizaron gasometrías arterial y capilar, primero utilizando  $\text{FiO}_2$  al 21% y, posteriormente, al 100%.

Se eliminó a los sujetos quienes habiendo dado su consentimiento, por razones técnicas, no fue posible colocar el catéter en la arteria radial.

Se acotaron las variables demográficas, hemodinámicas, diagnósticas y de laboratorio de los sujetos.

Todos los sujetos dieron su consentimiento informado, previa explicación del procedimiento y de los riesgos de la prueba.

La condición de estabilidad se definió como libre de enfermedad respiratoria o cardiológica aguda hasta en los 3 meses previos al procedimiento.

Las variables de los GS arteriales fueron: potencial de hidrógeno ( $\text{pH}$ );  $\text{PaO}_2$ ; presión arterial de dióxido de carbono ( $\text{PaCO}_2$ ); bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ); dióxido de carbono disuelto total ( $\text{CO}_2 \text{ T}$ ); exceso de base (EB), y saturación arterial de oxígeno ( $\text{SaO}_2$ ).

Las variables de los gases capilares fueron:  $\text{pHc}$ ;  $\text{PcO}_2$ ;  $\text{PcCO}_2$ ; bicarbonato capilar ( $\text{HCO}_3^-$ ); dióxido de carbono disuelto total capilar ( $\text{CO}_2 \text{ Tc}$ ); EB capilar, y saturación capilar de oxígeno ( $\text{ScO}_2$ ).

Para el muestreo arterial y capilar se usaron capilares de vidrio con heparina para uso en analizadores (gasómetros) IL serie 1300, 1600, BG3, BGE a 1600, Instrumentation Laboratory, Lexington, MA., 02173, USA.

Ambas muestras se obtuvieron al mismo tiempo y se procesaron inmediatamente en un equipo para análisis de gases sanguíneos (Instrumentation Laboratory, Critical Care Laboratory, Synthesis 25, Lexington, MA., 02421-3125, USA). Este equipo se calibra a un punto cada 30 min y a 2 puntos cada 8 h<sup>2</sup>.

## Maniobra

El día del estudio, el sujeto se mantuvo en posición sentada, tranquilo, y se le realizó la prueba de Allen<sup>20</sup> en cada extremidad; la que tuvo mejor llenado distal fue elegida para el sitio de inserción de un catéter arterial.

Se realizaron asepsia y antisepsia de la región de la arteria radial y, previa instilación tópica de xilocaína al 2% sin epinefrina, se introdujo un catéter intravenoso BD Insite 20 GA 1.16 IN (1.1 x 30 mm), Becton Dickinson, que se fijó y obturó con una llave de 3 vías para el control del flujo sanguíneo.

Para obtener la muestra capilar primero se realizó un suave masaje en el dedo que se puncionaría, con la finalidad de aumentar la temperatura de la región. Se puncionó el dedo pulgar derecho o izquierdo, de manera indistinta, con una aguja del número 22 y se permitió el libre flujo de sangre, sin exprimir el dedo. La recolección de la sangre se realizó manteniendo horizontal el tubo capilar junto al sitio puncionado. Una vez llenado el capilar, se introdujo un pequeño tubo metálico y los extremos se sellaron con plástico; posteriormente, se agitó el tubo metálico con un imán<sup>21</sup>. El capilar utilizado fue similar al usado en el sitio arterial. En todos los casos, las muestras se obtuvieron por los mismos observadores, previo entrenamiento en la técnica del muestreo capilar<sup>21</sup>.

Una vez colocado el catéter en la arteria radial, se obtuvieron de modo simultáneo una muestra arterial y una capilar al 21% de  $\text{FiO}_2$ . Posteriormente, se administró oxígeno suplementario al 100% durante 20 min mediante un sistema cerrado, que incluyó una válvula de 2 vías (modelo 1400; Hans-Rudolph, Kansas City, USA) y una bolsa de Douglas de alta capacidad, y se tomaron de nuevo las muestras arteriales y capilares.

## Análisis estadístico

Los valores se expresan en media  $\pm$  desviación estándar ( $M \pm DE$ ) y valores mínimos y máximos respectivos. Las diversas entidades cardiopulmonares se acotaron en frecuencias y porcentajes. Las gasometrías arterial y capilar se compararon mediante la prueba t pareada. La distribución de los valores entre ambas gasometrías se muestra mediante diagramas dispersos. Se realizó el coeficiente de correlación del momento-producto de Pearson ( $r$ ) para la correlación entre ambas muestras. El acuerdo entre las muestras arteriales y capilares se estableció mediante el procedimiento de Bland y Altman<sup>22</sup>; su magnitud se calculó con el coeficiente de correlación intraclass (CCI) y su respectivo intervalo de confianza del 95%. Se consideró estadísticamente significativo un valor de  $p < 0,05$ .

A pesar de que la correlación de Pearson es la más conocida y utilizada en medicina, en este estudio optamos por usar el procedimiento descriptivo de Bland y Altman para valorar el acuerdo entre los dos métodos (gases sanguíneos arteriales y capilares) que exploran un posible resultado semejante entre ambos métodos. Este procedimiento brinda información gráfica y descriptiva del comportamiento pareado de los datos, ajustándolos a una línea recta que divide la gráfica de puntos dispersos en dos mitades iguales y que se inicia de un valor 0 (o valores iguales) en las dos variables. De esta manera, es muy simple valorar una desviación de los datos porque no se ajustan a esta línea (desacuerdo). El procedimiento descriptivo complementario consiste en determinar la diferencia media entre los dos valores; si los dos datos fueran iguales la diferencia sería cero; conforme los datos difieren entre sí, esta diferencia será mayor, lo que evidencia la falta de concordancia entre ellos, sobre todo en trabajos donde interesa saber si un método es similar a uno previo existente (estándar de referencia). A diferencia del procedimiento es-

tadístico previo, la  $r$  de Pearson se utiliza para describir la fuerza y la dirección de una relación entre dos variables. Esta relación también se valora de acuerdo con el ajuste de los datos de dos variables a una línea recta. Sin embargo, la posición de esta línea puede no partir de un punto cero igual en los dos valores; esto hace que la relación en la gráfica de puntos dispersos pueda expresarse como positiva o negativa y no dividir la gráfica en dos mitades similares; el valor de  $r$  sería alto dado que los valores se alinearían con la línea recta. En esta condición, puede haber relación entre las variables por ajustar a una línea recta, pero no acuerdo<sup>22</sup>.

## Resultados

Estudiamos a 101 sujetos con enfermedad cardiopulmonar, 48 (47,5%) varones y 53 (52,5%) mujeres. Los datos demográficos se muestran en la tabla 1.

No observamos complicaciones debidas a la introducción del catéter arterial en ninguno de nuestros pacientes.

Las entidades estudiadas se agruparon de la siguiente manera: neumopatía del obeso 17 (16,8%); cardiopatía isquémica 15 (14,9%); cardiopatía valvular 15 (14,9%); cardiopatía congénita (CC) 15 (14,9%); hipertensión arterial sistémica 12 (11,9%); hipertensión pulmonar severa 10 (9,9%); síndrome de apnea obstructiva del sueño 5 (4,9%); marcapasos

definitivos por trastornos de la conducción 4 (3,9%); enfermedad pulmonar obstructiva crónica 4 (3,9%); tromboembolia pulmonar 2 (2%), y neumopatía restrictiva 2 (2%).

La  $M \pm DE$ , así como los límites inferior y superior de cada variable de las gasometrías arterial y capilar, se presentan en las tablas 2 y 3. La magnitud del acuerdo entre los diferentes valores de las gasometrías arterial y capilar se pre-

**Tabla 1** Valores demográficos, hematológicos y de la presión arterial sistémica media en el grupo estudiado

Variable	(n = 101)	Límites Mínimo-máximo
Edad (años)	55 ± 16	20-85
Peso (kg)	80,32 ± 20,86	41,5-156
Superficie corporal (m <sup>2</sup> )	1,80 ± 0,26	1,27-2,78
Índice de masa corporal (kg/m <sup>2</sup> )	31,58 ± 6,54	19,47-51,80
Presión arterial sistémica media (mmHg)	94,96 ± 10,57	76-112
Hemoglobina (g/dl)	15,94 ± 2,48	10-24,33
Hematocrito (%)	47,95 ± 7,66	30-73

**Tabla 2** Comportamiento de la gasometría arterial y capilar con  $\text{FiO}_2$  al 21%

Variable	Arterial (n = 101)	Límites Mínimo-máximo	Capilar (n = 101)	Límites Mínimo-máximo
pH	7,41 ± 0,039	7,31-7,50	7,40 ± 0,037*	7,31-7,50
$\text{PO}_2$ (mmHg)	60,97 ± 10,75	35-84	58,03 ± 9,04*	35-86
$\text{PCO}_2$ (mmHg)	31,87 ± 6,11	20,60-53,50	31,79 ± 6,12	20,10-53,90
$\text{HCO}_{-3}$ (mmol/l)	20,45 ± 3,81	11,70-34	20,52 ± 3,55	12,80-34,10
$\text{CO}_2$ T (ml/dl)	21,39 ± 3,93	12,40-35,70	21,53 ± 3,91	12,40-35,80
EB (mmol/l)	-2,94 ± 3,38	-11,70-+7,60	-2,82 ± 3,25	-11,30-+7,60
$\text{SO}_2$ (%)	90,33 ± 6,05	61,50-99,60	89,57 ± 5,62*	61,10-98,20

EB: exceso de base;  $\text{CO}_2$  T: dióxido de carbono disuelto total;  $\text{FiO}_2$ : fracción inspirada de oxígeno;  $\text{HCO}_{-3}$ : bicarbonato sérico; pH: potencial hidrógeno;  $\text{PCO}_2$ : presión de dióxido de carbono;  $\text{PO}_2$ : presión de oxígeno;  $\text{SO}_2$ : saturación de oxígeno.

Los datos se expresan como media ± desviación estándar.

\*P < 0,05 entre muestra capilar y arterial con la prueba t para grupos pareados.

**Tabla 3** Comportamiento de la gasometría arterial y capilar con  $\text{FiO}_2$  al 100%

Variable	Arterial (n = 101)	Límites Mínimo-máximo	Capilar (n = 101)	Límites Mínimo-máximo
pH	7,41 ± 0,047	7,27-7,58	7,41 ± 0,044*	7,28-7,57
$\text{PO}_2$ (mmHg)	301,19 ± 95	55-453	226,2 ± 71,28*	54-399
$\text{PCO}_2$ (mmHg)	31,22 ± 6,63	16,10-50,8	31,04 ± 6,44	16,40-51,50
$\text{HCO}_{-3}$ (mmol/l)	20,55 ± 4,03	11,80-34,10	20,29 ± 3,93*	12,80-34
$\text{CO}_2$ T (ml/dl)	21,30 ± 3,97	12,40-34,20	21,14 ± 4,02	13,50-33,80
EB (mmol/l)	-2,74 ± 3,08	-10,60-+7,40	-2,98 ± 3,37	-12,40-+7,30
$\text{SO}_2$ (%)	99,56 ± 1,46	87,70-100	99,36 ± 1,49*	87,20-99,90

EB: exceso de base;  $\text{CO}_2$  T: dióxido de carbono disuelto total;  $\text{FiO}_2$ : fracción inspirada de oxígeno;  $\text{HCO}_{-3}$ : bicarbonato sérico; pH: potencial hidrógeno;  $\text{PCO}_2$ : presión de dióxido de carbono;  $\text{PO}_2$ : presión de oxígeno;  $\text{SO}_2$ : saturación de oxígeno.

Los datos se expresan como media ± desviación estándar.

\*P < 0,05 entre muestra capilar y arterial con la prueba t para grupos pareados.

**Tabla 4** Magnitud del acuerdo entre las variables de la gasometría arterial y capilar con  $\text{FiO}_2$  al 21% y al 100%

Variable	CCl- $\text{FiO}_2$ al 21%*	IC del 95%	CCl- $\text{FiO}_2$ al 100%*	IC del 95%
pH	0,94	0,92-0,96	0,94	0,91-0,96
$\text{PO}_2$ (mmHg)	0,90	0,95-0,98	0,84	0,95-0,98
$\text{PCO}_2$ (mmHg)	0,97	0,86-0,93	0,97	0,78-0,89
$\text{HCO}_3^-$ (mmol/l)	0,93	0,91-0,95	0,96	0,94-0,97
$\text{CO}_2 \text{ T}$ (ml/dl)	0,94	0,91-0,96	0,93	0,90-0,95
EB (mmol/l)	0,94	0,91-0,95	0,92	0,89-0,94
$\text{SO}_2$ (%)	0,98	0,97-0,99	0,97	0,96-0,98

CCl: coeficiente de correlación intraclass;  $\text{CO}_2 \text{ T}$ : dióxido de carbono disuelto total; EB: exceso de base;  $\text{FiO}_2$ : fracción inspirada de oxígeno;  $\text{HCO}_3^-$ : bicarbonato sérico; IC: intervalo de confianza; pH: potencial hidrógeno;  $\text{PCO}_2$ : presión de dióxido de carbono;  $\text{PO}_2$ : presión de oxígeno;  $\text{SO}_2$ : saturación de oxígeno.

\* $P < 0,001$ .

**Tabla 5** Acuerdo de Bland y Altman entre las muestras capilar y arterial con  $\text{FiO}_2$  al 21%

Variable	Diferencia media	Desviación estándar	Límites de acuerdo (95%), media $\pm$ 2 DE	Coeficiente de correlación (r)
pH	0,0091	0,013	0,035 a -0,017	0,94
$\text{PO}_2$ (mmHg)	2,94	4,23	11,4 a -5,52	0,92
$\text{PCO}_2$ (mmHg)	0,079	1,46	2,99 a -2,84	0,97
$\text{HCO}_3^-$ (mmol/l)	-0,067	1,28	2,49 a -2,63	0,94
$\text{CO}_2 \text{ T}$ (mmol/l)	-0,142	1,30	2,46 a -2,74	0,94
EB (ml/dl)	-0,125	1,14	2,16 a -2,41	0,94
$\text{SO}_2$ (%)	0,764	1,08	2,92 a -1,40	0,98

$\text{CO}_2 \text{ T}$ : dióxido de carbono disuelto total; DE: desviación estándar; EB: exceso de base;  $\text{FiO}_2$ : fracción inspirada de oxígeno;  $\text{HCO}_3^-$ : bicarbonato sérico; pH: potencial hidrógeno;  $\text{PCO}_2$ : presión de dióxido de carbono;  $\text{PO}_2$ : presión de oxígeno;  $\text{SO}_2$ : saturación de oxígeno.

**Tabla 6** Acuerdo de Bland y Altman entre las muestras capilar y arterial con  $\text{FiO}_2$  al 100%

Variable	Diferencia media	Desviación estándar	Límites de acuerdo (95%), media $\pm$ 2 DE	Coeficiente de correlación (r)
pH	0,0039	0,016	0,036 a -0,028	0,94
$\text{PO}_2$ (mmHg)	74,99	46,08	167,15 a -17,17	0,88
$\text{PCO}_2$ (mmHg)	0,179	1,57	3,32 a -2,96	0,97
$\text{HCO}_3^-$ (mmol/l)	0,262	1,12	2,50 a -1,98	0,96
$\text{CO}_2 \text{ T}$ (ml/dl)	0,161	1,44	3,04 a -2,12	0,93
EB (mmol/l)	0,235	1,25	2,74 a -2,27	0,92
$\text{SO}_2$ (%)	0,202	0,325	0,84 a -0,448	0,97

$\text{CO}_2 \text{ T}$ : dióxido de carbono disuelto total; DE: desviación estándar; EB: exceso de base;  $\text{FiO}_2$ : fracción inspirada de oxígeno;  $\text{HCO}_3^-$ : bicarbonato sérico; pH: potencial hidrógeno;  $\text{PCO}_2$ : presión de dióxido de carbono;  $\text{PO}_2$ : presión de oxígeno;  $\text{SO}_2$ : saturación de oxígeno.

senta en la tabla 4. En las tablas 5 y 6 se muestra el acuerdo por el método de Bland y Altman de las diferentes variables calculadas de la gasometría arterial y la gasometría capilar con  $\text{FiO}_2$  al 21 y al 100%.

El comportamiento de la relación arterial-capilar del pH, la presión de oxígeno ( $\text{PO}_2$ ) y la presión de dióxido de carbono ( $\text{PCO}_2$ ) a una  $\text{FiO}_2$  del 21% y el 100% se muestran en las figuras 1a-6a y la diferencia media de Bland y Altman de pH,  $\text{PO}_2$  y  $\text{PCO}_2$  a  $\text{FiO}_2$  respectivas se presentan en las figuras 1b-6b.

## Discusión

Nuestra población de estudio fue similar en sexo y edad. De acuerdo con el índice de masa corporal, esta muestra correspondió al grupo de obesidad leve, aunque se encontró desde peso normal hasta obesidad severa. La presión arterial promedio obtenida del grupo estuvo en rangos normales. La hemoglobina y hematocrito variaron por igual desde la anemia leve hasta poliglobulía, aunque el promedio se mantuvo dentro de rangos normales.

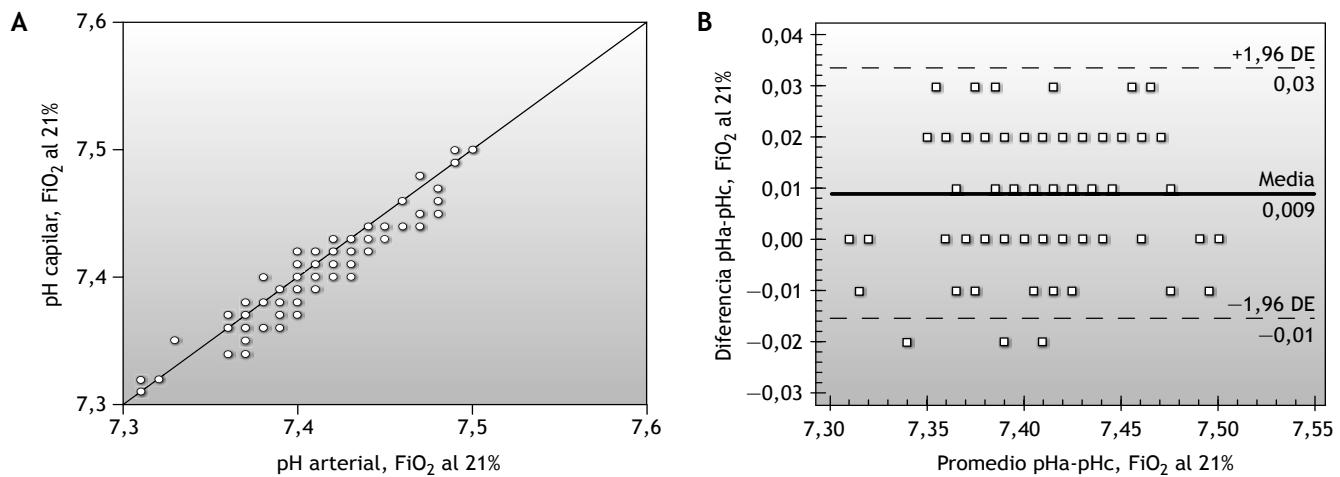


Figura 1 A: gráfico disperso del potencial hidrógeno (pH) de la relación arterial-capilar con fracción inspirada de oxígeno ( $\text{FiO}_2$ ) al 21%. B: diferencia media de Bland y Altman. DE: desviación estándar; pHa: potencial hidrógeno arterial; pHc: potencial hidrógeno capilar.

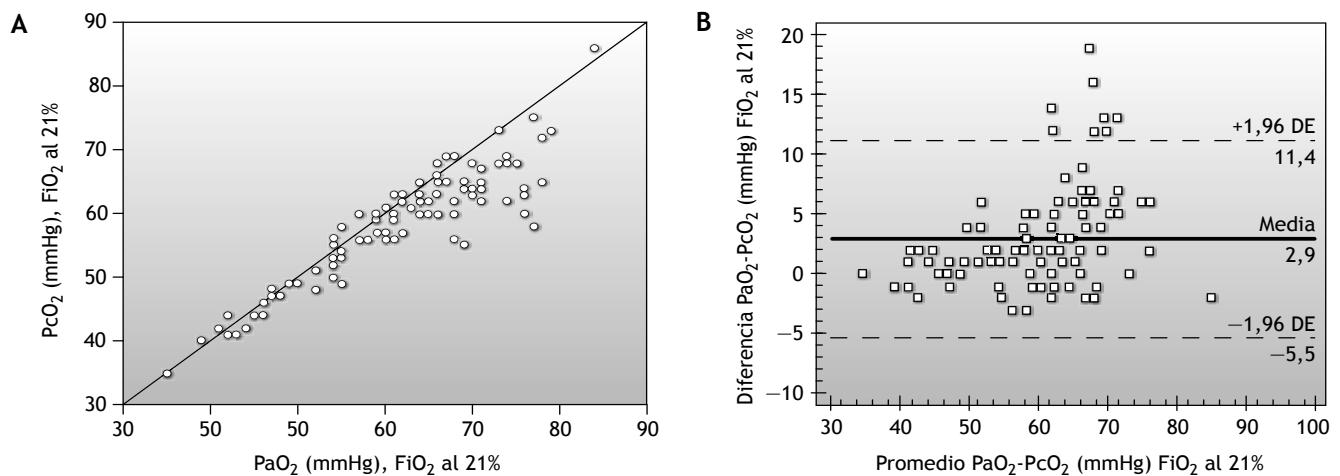


Figura 2 A: gráfico disperso de la presión de oxígeno de la relación arterial-capilar con fracción inspirada de oxígeno ( $\text{FiO}_2$ ) al 21%. B: diferencia media de Bland y Altman. DE: desviación estándar; PaO<sub>2</sub>: presión arterial de oxígeno; P<sub>c</sub>O<sub>2</sub>: presión capilar de oxígeno.

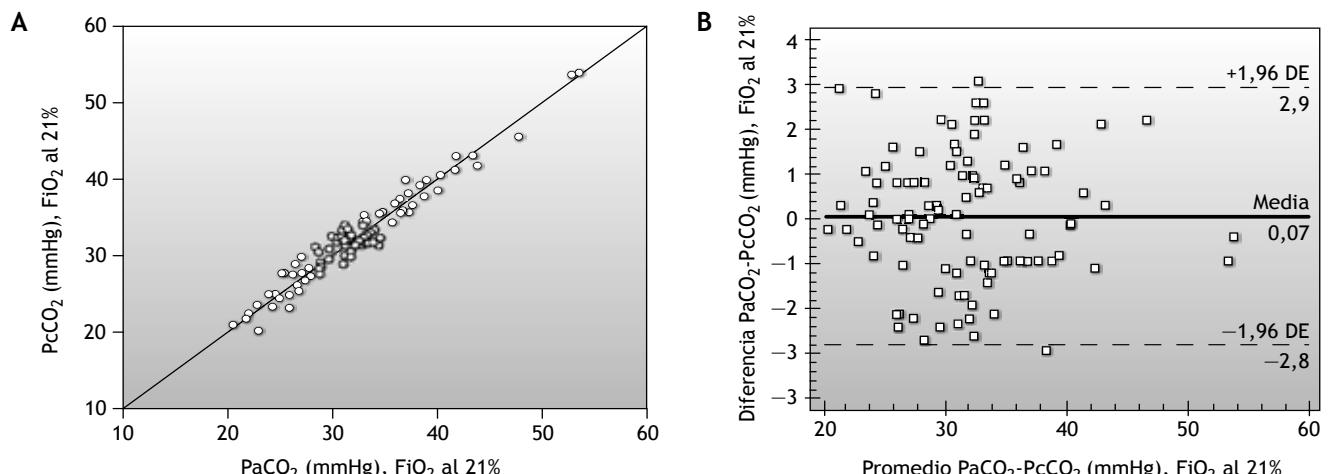
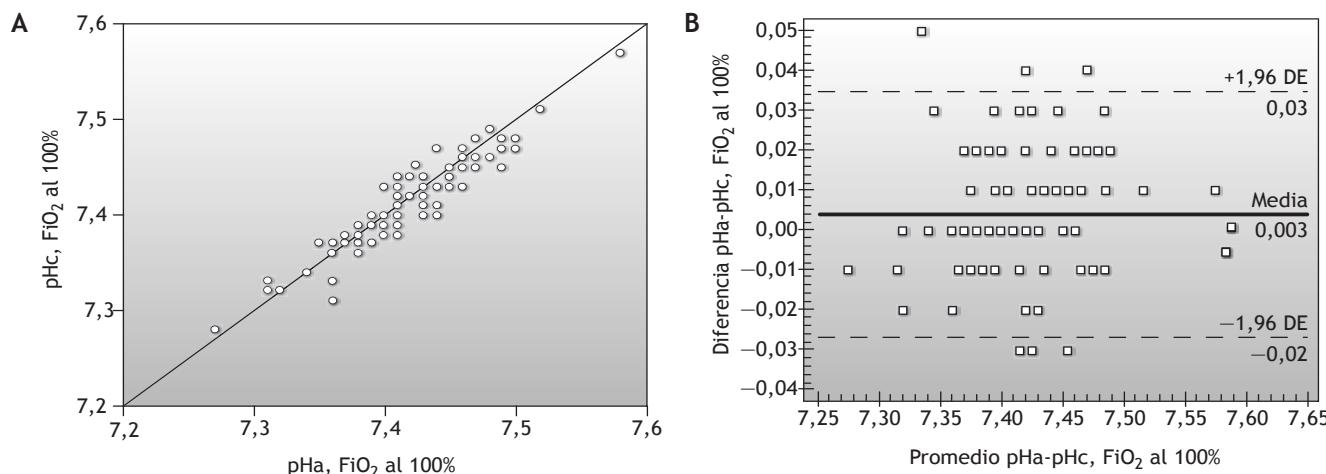
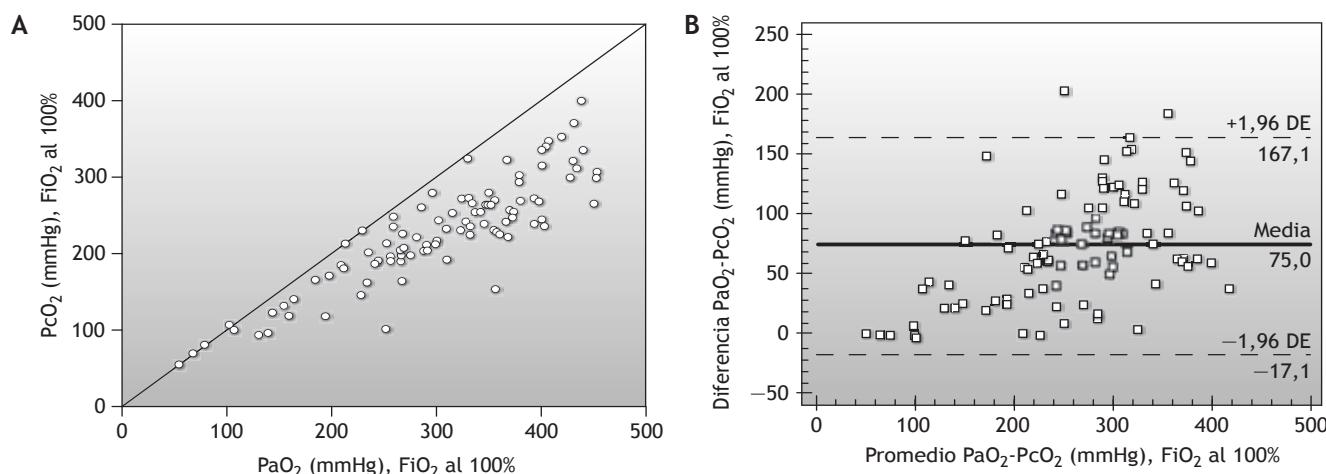


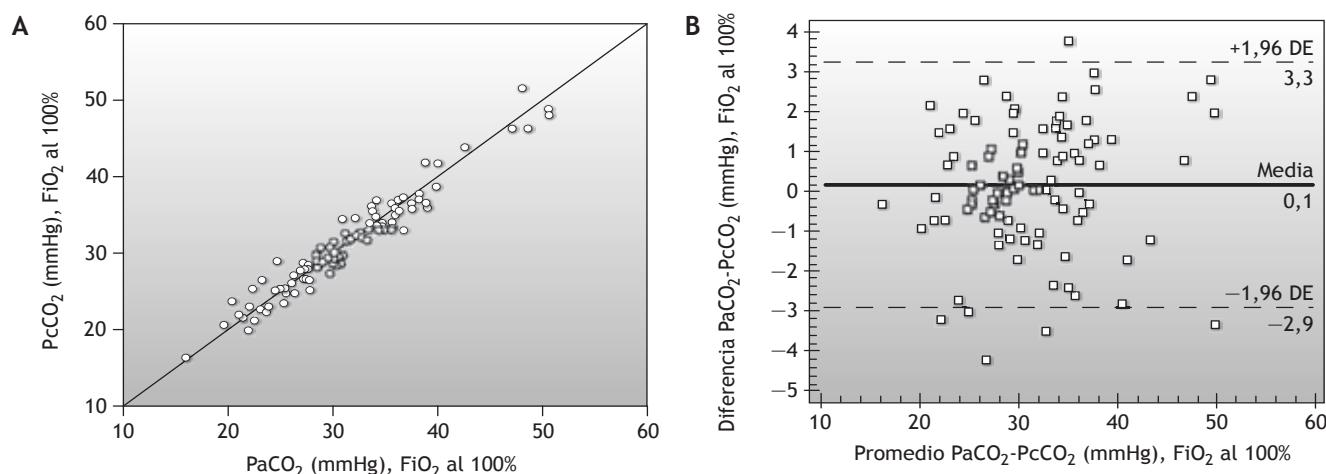
Figura 3 A: gráfico disperso de la presión de dióxido de carbono de la relación arterial-capilar con fracción inspirada de oxígeno ( $\text{FiO}_2$ ) al 21%. B: diferencia media de Bland y Altman. DE: desviación estándar; PaCO<sub>2</sub>: presión arterial de dióxido de carbono; P<sub>c</sub>CO<sub>2</sub>: presión capilar de dióxido de carbono.



**Figura 4** A: gráfico disperso del potencial hidrógeno (pH) de la relación arterial-capilar con fracción inspirada de oxígeno ( $\text{FiO}_2$ ) al 100%. B: diferencia media de Bland y Altman. DE: desviación estándar; pHa: potencial hidrógeno arterial; pHc: potencial hidrógeno capilar.



**Figura 5** A: gráfico disperso de la presión de oxígeno de la relación arterial-capilar con fracción inspirada de oxígeno ( $\text{FiO}_2$ ) al 100%. B: diferencia media de Bland y Altman. DE: desviación estándar;  $\text{PaO}_2$ : presión arterial de oxígeno;  $\text{PcO}_2$ : presión capilar de oxígeno.



**Figura 6** A: gráfico disperso de la presión de dióxido de carbono de la relación arterial-capilar con fracción inspirada de oxígeno ( $\text{FiO}_2$ ) al 100%. B: diferencia media de Bland y Altman. DE: desviación estándar;  $\text{PaCO}_2$ : presión arterial de dióxido de carbono;  $\text{PcCO}_2$ : presión capilar de dióxido de carbono.

Esta muestra heterogénea representa el tipo de población que habitualmente se atiende en el laboratorio de PFR de nuestro departamento para el estudio de su función pulmonar o de la repercusión pulmonar de su cardiopatía de base.

En las tablas 2 y 3 se observan valores de  $\text{PaO}_2$  y  $\text{PcO}_2$  bajos; esto se debe al tipo de población estudiada, ya que una alta proporción presentaba hipoxemia y su respuesta a la  $\text{FiO}_2$  al 100% dependió de la reversibilidad de ésta por la presencia de cortocircuitos venoarteriales, como se ha reportado<sup>23,24</sup> en la obesidad, por cortocircuito intracardíaco invertido, como los observados en la CC (síndrome de Eisenmenger), o por la presencia de un foramen oval permeable en el sujeto con hipertensión arterial pulmonar<sup>25,26</sup>.

El grado de acuerdo calculado mediante el CCI (tabla 4) demostró una buena concordancia ( $> 0,90$ ) entre las gasometrías arterial y capilar, con una  $\text{FiO}_2$  al 21%; esta concordancia se mantuvo con una  $\text{FiO}_2$  al 100%, a excepción de la  $\text{PO}_2$ , que disminuyó a 0,84. Calculamos la correlación de Pearson entre ambas muestras (tablas 5 y 6); los resultados demuestran un comportamiento muy parecido con el CCI; sin embargo, correlación no significa acuerdo o concordancia<sup>22</sup>, la informamos para tener un patrón de referencia respecto de los artículos donde se utilizó la correlación de Pearson<sup>15-17</sup>.

Seleccionamos los gráficos dispersos de las variables no calculadas de las muestras sanguíneas arterial y capilar (figs. 1a y b a 6a y b), que ofrece el gasómetro utilizado, como son el pH, la  $\text{PO}_2$  y la  $\text{PCO}_2$ . En estas figuras podemos observar que los datos se dispersan proporcionalmente a lo largo de la línea de identidad de las gráficas para el pH y la  $\text{PCO}_2$  ante valores de  $\text{FiO}_2$  previamente referidos. A pesar de obtener un buen grado de acuerdo para la  $\text{PO}_2$ , la figura 2a muestra que los puntos siguen la línea de identidad hasta valores aproximados de  $\text{PaO}_2$  de 50-60 mmHg; posteriormente, los valores se sesgan a la derecha, conforme la  $\text{PaO}_2$  es mayor. Este efecto puede verse magnificado cuando se realiza la comparación arterial-capilar con  $\text{FiO}_2$  al 100% (fig. 5a). Estos resultados se expresan además con las desviaciones estándar de las diferencias medias respectivas (tablas 5 y 6), donde la muestra arterial fue de 4,23 al 21% de  $\text{FiO}_2$  y de 46,08 para la respectiva al 100%. Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por otros autores<sup>15-17</sup>. Un metaanálisis<sup>27</sup> puntualizó hallazgos similares, a pesar de las limitaciones de la muestra que presentó el estudio.

El comportamiento capilar del oxígeno se ha atribuido a la diferencia arteriovenosa que existe entre el lado arterial y el lado venoso del capilar<sup>28</sup>. El oxígeno llega con 98 mmHg en promedio al lado arterial del capilar y en su extremo venoso la  $\text{PO}_2$  es de 38 mmHg; el gradiente que se forma es de 60 mmHg. Esta es la razón por la que la  $\text{PcO}_2$  es muy parecida a la  $\text{PaO}_2$  en condiciones de hipoxemia. Con gradientes mayores, como ocurre a una mayor  $\text{PaO}_2$ , la diferencia se incrementará, y la  $\text{PcO}_2$  será menor. Otro factor que podría estar operando es la curva de disociación de la oxihemoglobina<sup>16</sup>, ya que la diferencia arteriovenosa de oxígeno depende de ella, principalmente si se encuentra en la porción escarpada de la curva, donde si la  $\text{PaO}_2$  disminuye, la diferencia arteriovenosa disminuirá también.

Encontramos también un buen acuerdo con la saturación de oxígeno; sin embargo, muestra un patrón similar al observado con el oxígeno y el hecho de tener bajas saturacio-

nes (por el tipo de población estudiada) con ambas  $\text{FiO}_2$  permitió que la concordancia y la relación lineal fueran buenas.

Los GS a la altura de la ciudad de México (2,240 metros sobre el nivel del mar) se han reportado previamente<sup>29,30</sup>. Los valores al aire ambiente en este nivel son: pH 7,33-7,43;  $\text{PaO}_2 67,5 \pm 2,5$  mmHg;  $\text{PaCO}_2 32,2 \pm 2,5$  mmHg, y con  $\text{FiO}_2$  al 100% la  $\text{PaO}_2$  es  $> 400$  mmHg. Como podemos observar en la tabla 2, nuestra población en promedio cursó con hipoxemia, condicionada por la altura de la Ciudad de México o por ser portadora de CC u obesidad severa con cortocircuito venoarterial<sup>23,24</sup>. Con esta hipoxemia, la diferencia arteriovenosa capilar sería muy pequeña y permitiría una mayor semejanza a la muestra arterial.

Estas consideraciones no se aplican para el pH y la  $\text{PCO}_2$ , dado que no hay en ellos diferencias arteriovenosas en el capilar, motivo por el cual tienen buenas concordancias con su contraparte capilar al respirar al aire ambiente y las conservan al utilizar oxígeno al 100%.

Las variables calculadas (resto de la gasometría), derivadas del pH y la  $\text{PCO}_2$ , mantienen buena concordancia con ambas  $\text{FiO}_2$ , en particular el  $\text{HCO}_3^-$ ; la concordancia está en conformidad con lo publicado con anterioridad<sup>13</sup>.

Según estas consideraciones, las muestras capilares pueden ser de utilidad para valorar la ventilación ( $\text{PaCO}_2$ ) en este grupo de sujetos con enfermedad cardiopulmonar; sin embargo, estarían limitadas para la evaluación apropiada de la oxigenación ( $\text{PaO}_2$ ) en nuestras PFR.

## Conclusiones

La gasometría capilar puede ser una alternativa útil para sustituir a la gasometría arterial. En condiciones de hipoxemia, la  $\text{PcO}_2$  es confiable; sin embargo, esta concordancia disminuye conforme la  $\text{PaO}_2$  se incrementa, hasta ser nula con  $\text{FiO}_2$  al 100%.

A excepción de la  $\text{PO}_2$ , el comportamiento de las otras variables obtenidas de los gases capilares fue similar al de la gasometría arterial con ambas fracciones inspiradas de oxígeno.

Con este trabajo, y a pesar de los resultados obtenidos en la  $\text{PcO}_2$  con  $\text{FiO}_2$  al 100%, en la práctica clínica diaria podría utilizarse la gasometría capilar en el sujeto adulto para evaluar la ventilación y el equilibrio ácido-base con buena confiabilidad.

Nuestra población está situada a 2,240 metros sobre el nivel del mar y habitualmente cursa con cierto grado de hipoxemia<sup>29,30</sup>. Desde este punto de vista, la fase de oxigenación podría evaluarse con la gasometría capilar. En el grupo en que la  $\text{PaO}_2$  se encuentra entre 70 y 90 mmHg, donde los valores se dispersan, la  $\text{PcO}_2$  estaría limitada al grado de exactitud que se desee de los datos.

## Bibliografía

1. Raffin TA. Indications for arterial blood gas analysis. Ann Intern Med. 1986;105:390-8.
2. Williams AJ. ABC of oxygen. Assessing and interpreting arterial blood gases and acid-base balance. Br Med J. 1998;317:1213-6.

3. Mortensen JD. Clinical sequelae from arterial needle puncture, cannulation, and incisión. *Circulation*. 1967;35:1118-23.
4. Dar K, Williams T, Aitken R, Woods KL, Fletcher S. Arterial versus capillary sampling for analyzing blood gas pressures. *BMJ*. 1995;310:24-5.
5. Gandy G, Grann L, Cunningham N. The validity of pH and  $\text{PCO}_2$  measurements in capillary samples in sick and healthy newborn infants. *Pediatrics*. 1964;34:192-7.
6. Yildizdas D, Yapiçoglu H, Yilmaz HL, Sertdemir Y. Correlation of simultaneously obtained capillary, venous, and arterial blood gases of patients in a paediatric intensive care unit. *Arch Dis Child*. 2004;89:176-80.
7. Escalante-Kanashiro R, Tantalean-Da-Fieno J. Capillary blood gases in pediatric intensive care unit. *Crit Care Med*. 2000;28: 224-6.
8. Harrison AM, Lynch J, Dean JM, Witte MK. Comparison of simultaneously obtained arterial and capillary blood gases in pediatric intensive care unit patients. *Crit Care Med*. 1997;25:1904-8.
9. Jung RC, Balchum OJ, Massey FJ. The accuracy of venous and capillary blood for the prediction of arterial pH,  $\text{PCO}_2$  and  $\text{PO}_2$  measurements. *Am J Clin Path*. 1966;45:129-38.
10. Langlands JHM, Wallace WFM. Small blood samples from earlobe puncture: a substitute for arterial puncture. *Lancet*. 1965; ii:315-7.
11. Christoforides C, Miller JM. Clinical use and limitations of arterialized capillary blood for  $\text{PO}_2$  determination. *Am Rev Respir Dis*. 1968;98:653-7.
12. Koch G. The validity of  $\text{PO}_2$  measurement in capillary blood as a substitute for arterial  $\text{PO}_2$ . *Scand J Clin Lab Invest*. 1968;21: 10-3.
13. Doocrat K, Kenny S. The accuracy of capillary sampling for acid-base estimations. *Br J Anaesth*. 1965;37:840-4.
14. Torres-Ramírez, Tapia-Mendoza F, Maraboto-Millán JA. Validez de la muestra capilar arterializada para estudiar la insuficiencia respiratoria y el equilibrio ácido-base. *Neumol Cir Torax*. 1996;55:135-45.
15. Murphy R, Thethy S, Raby S, Beckley J, Terrace J, Fiddler C, et al. Capillary blood gases in acute exacerbations of COPD. *Respir Med*. 2006;100:682-6.
16. Sauty A, Uldry C, Debétaz L-F, Leuenberger L-F, Fitting J-W. Differences in  $\text{PO}_2$  and  $\text{PCO}_2$  between arterial and arterialized earlobe samples. *Eur Respir J*. 1996;9:186-9.
17. Fajac I, Texereau J, Rivoal V, Dessanges JF, Dinh-Xuan AT, Dall'Ava-Santucci J. Blood gas measurement during exercise: a comparative study between arterialized earlobe sampling and direct arterial puncture in adults. *Eur Respir J*. 1998;11:712-5.
18. Zavorsky GS, Lands LC, Schneider W, Carli F. Comparison of fingertip to arterial blood samples at rest and during exercise. *Clin J Sport Med*. 2005;15:263-70.
19. Pitkin AD, Roberts CM, Wedzicha JA. Arterialized earlobe blood gas analysis: an underused technique. *Thorax*. 1994;49:364-6.
20. Allen EV. Thromboangiitis obliterans: Methods of diagnosis of chronic occlusive arterial lesions distal to the wrist with illustrative cases. *Am J Med Sci*. 1929;178:237-44.
21. AARC clinical practice guideline. *Respir Care*. 1994;39:1180-3.
22. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;ii:307-10.
23. Martínez-Guerra ML, Fernández-Bonetti P, Lupi Herrera E, Rotberg T, Elizalde A. Alteraciones respiratorias en la obesidad. Aspectos clínicos y funcionales. *Arch Inst Cardiol Mex*. 1975;45: 12-21.
24. Santos-Martínez LE, Martínez-Guerra ML, Bautista E, Castillo F, Castaño A, Pulido T, et al. Impacto de la maniobra de inspiración profunda en el intercambio gaseoso del sujeto con obesidad severa e hipertensión arterial pulmonar asociada a síndrome de Eisenmenger. *Arch Cardiol Mex*. 2008;78:265-72.
25. Sandoval J, Alvarado P, Martínez-Guerra ML, Gómez A, Palomar A, Meza S, et al. Effect of body position changes on pulmonary gas exchange in Eisenmenger's syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999;159:1070-3.
26. Sandoval J, Bauerle O, Gomez A, Palomar A, Martínez-Guerra ML, Furuya MA. Primary pulmonary hypertension in children: Clinical characterization and survival. *J Am Coll Cardiol*. 1995; 25:466-74.
27. Zavorsky GS, Cao J, Mayo NE, Gabbay R, Murias JM. Arterial versus capillary blood gases: A meta-analysis. *Res Physiol Neurobiol*. 2007;155:268-79.
28. Huges JMB. Blood gas estimations from arterialized capillary blood versus arterial puncture: are they different? *Eur Respir J*. 1996;9:184-5.
29. De Micheli A, Villacís E, Guzzi de la Mora P, Rubio Álvarez V. Observaciones sobre los valores hemodinámicos y respiratorios obtenidos en sujetos normales. *Arch Inst Cardiol Mex*. 1960;30: 507-20.
30. Martínez-Guerra ML, Fernández-Bonetti P, Balvanera A. Valores normales de algunas medidas de la función respiratoria en la Ciudad de México. *Prensa Med Mex*. 1973;38:1-5.