

MONITOREO TRANSCUTANEO DE $\dot{P}O_2$ Y PCO_2 DURANTE LA ANESTESIA GENERAL INHALATORIA

*RAÚL CASTAÑEDA

**RICARDO SÁNCHEZ

*ANGELA DÁVILA

*PATRICIA OCHOA

RESUMEN

Se estudian los efectos de la oxigenación, ventilación y agentes anestésicos inhalados, sobre el grado de asociación entre la determinación arterial y transcutánea de la PO_2 y PCO_2 , manteniendo constantes la temperatura y la hemodinamia central y periférica. La anestesia fue inducida con tiopental y mantenida con halotano-óxido nitroso. En cada paciente se instaló un catéter arterial, catéter de Swan-Ganz, analizador transcutáneo de PO_2 y PCO_2 , termómetro esofágico y cardioscopio; lo que nos permitió determinar la presión arterial media, PaO_2 y $PaCO_2$; presión venosa central y presión capilar pulmonar en cuña; $PtcO_2$ y $PtcCO_2$; temperatura y frecuencia cardíaca, en el control y durante el mantenimiento anestésico.

En el control hubo buena correlación entre la determinación transcutánea y arterial de estos gases; sin embargo, durante el transanestésico disminuyó significativamente la correlación de la PO_2 y en forma menos importante la de la PCO_2 . La temperatura y las otras variables hemodinámicas no variaron en forma significativa del control al mantenimiento.

Se concluye que la determinación transcutánea de gases no sustituye a la determinación arterial, ya que durante el transanestésico se presentan condiciones que pueden alterar significativamente la sensibilidad de los electrodos.

Palabras clave: Oxígeno, bióxido de carbono. Presión parcial transcutánea. Presión parcial arterial. Halotano. Óxido nitroso.

SUMMARY

This study intended to evaluate the effects of such factors as FiO_2 , ventilation and the inhaled anesthetic agents upon the relationship between PO_2 and PCO_2 values obtained employing the transcutaneous electrodes in comparison with PO_2 and PCO_2 values obtained utilizing direct arterial blood sampling. Body temperature and cardiovascular parameters were kept constant. Anesthesia was induced with tiopental and maintained with a mixture of oxygen halothane-nitrous oxide. A Swan-Ganz catheter, a radial arterial catheter, transcutaneous PO_2 and PCO_2 electrodes were placed in each patient as well as an esophageal thermometer and a cardiac oscilloscope in order to measure mean arterial blood pressure, PaO_2 , $PaCO_2$, CVP, pulmonary capillary wedge pressure, transcutaneous PO_2 and PCO_2 ; body temperature and heart rate.

In the control period that is before anesthetic induction the PO_2 and PCO_2 values obtained with the transcutaneous electrodes were very similar with those obtained with arterial blood sampling, however, during the transanesthetic period the transcutaneous PO_2 values decreased significantly and the PCO_2 decreased also although to a lesser extent. Body temperature and other data did not change significantly from control period to the anesthetic period.

Transcutaneous blood gas determinations are not reliable during the anesthetic period, due to the presence of factors that may alter significantly the transcutaneous electrode sensibility.

Key words: oxygen, carbone bioxide. Transcutaneous partial pressure. Arterial partial pressure. Halothane. Nitrous oxide.

*Médico Anestesiólogo, Servicio de Anestesiología, Hospital General, Centro Médico Nacional, IMSS.

**Jefe de Servicio.

Sobretiros: Dr. Raúl castañeda. Pastorelas No. 14, Colina del Sur. México 01430, D.F.

Desde que se introdujo a la práctica clínica la determinación transcutánea de la presión parcial de oxígeno ($PtcO_2$) y bióxido de carbono ($PtcCO_2$) se han efectuado numerosos estudios encaminados a establecer los factores que pueden alterar esta lectura, así como su grado de asociación con la determinación arterial. Así Rooth¹¹ y Eletr¹² reportan que la $PtcO_2$ es influenciada principalmente por la temperatura y la hemodinamia periférica, así como por la hiperoxia¹³ y la hiperventilación.¹⁴ En relación con la $PtcCO_2$, Goldman y col.¹⁵ y Clutton⁷ encontraron que es afectada fundamentalmente por el flujo sanguíneo periférico. El grado de asociación de la $PtcO_2$ con la presión parcial arterial (PaO_2) guarda relación con la edad y el estado clínico de los pacientes, así Severinghaus y col.¹⁶ y Sergején¹⁷ reportan un coeficiente de correlación (r) hasta de 0.98 en recién nacidos sanos, mientras que Hutchison y col.¹⁸ encontraron una r de 0.76 en pacientes adultos con diferentes alteraciones cardiopulmonares. En términos generales, la correlación de la $PtcCO_2$ con la presión parcial arterial ($PaCO_2$) es mayor y más estable que la presión parcial de oxígeno (PO_2), así Goldman y col.¹⁵ y Clutton⁷ reportan una r hasta de 0.98 en pacientes con ventilación normal.

De acuerdo con estos antecedentes, se han estudiado los factores que pueden modificar la lectura de la PO_2 y de la presión parcial de bióxido de carbono (PCO_2), y por tanto, la asociación entre la determinación transcutánea y arterial; sin embargo, se ha estudiado poco la influencia que pueden tener los agentes anestésicos inhalados y las condiciones de oxigenación y ventilación presentes durante el procedimiento anestésico. Nosotros suponemos que durante el transanestésico se presentan otros factores que pueden afectar adversamente la lectura de la PO_2 y PCO_2 , disminuyendo la correlación entre la determinación transcutánea y la arterial.

La presente investigación tiene por objeto establecer la influencia de la oxigenación, ventilación y agentes anestésicos inhalados sobre la determinación transcutánea y arterial de la PO_2 y PCO_2 .

MATERIAL Y METODO

Después de obtener la aprobación del Comité de Investigación Clínica y el consentimiento informado, se estudiaron 20 pacientes adultos, 12 hombres y 8 mujeres, con una edad promedio de 31 ± 4 años y un peso promedio de 62 ± 6 Kg., que fueron sometidos a diferentes procedimientos quirúrgicos con un riesgo anestésico quirúrgico de I según calificación de la Sociedad Americana de Anestesiólogos.

Manejo anestésico. Todos los pacientes recibieron medicación preanestésica a base de diazepam-atropina IM 30 minutos antes de la anestesia. La inducción de la

anestesia se hizo con tiopental IV. La intubación orotraqueal se realizó con tubo Rüsch de diámetro adecuado, previa administración de succinilcolina IV. El mantenimiento de la anestesia se llevó con oxígeno-óxido nitroso-halotano en circuito semicerrado y el bloqueo neuromuscular se mantuvo con bromuro de pancuronio IV en los casos indicados.

Monitoreo transanestésico. Para fines de monitoreo transanestésico se instaló en cada paciente un catéter arterial, catéter de Swan-Ganz, analizador transcutáneo de gases (Radiometer TCM-1), termómetro esofágico y cardioscopio. Lo que nos permitió determinar la presión arterial media (PAM), PaO_2 y $PaCO_2$; presión venosa central (PVC) y presión capilar pulmonar en cuna (PCPC), tCO_2 y $PtcCO_2$, temperatura y frecuencia cardíaca (FC).

Los gases sanguíneos arteriales fueron obtenidos en el control y cada 30 minutos durante el transanestésico. Al mismo tiempo que fueron obtenidos los gases sanguíneos, se registraron los valores transcutáneos de la PO_2 y PCO_2 . Los valores para análisis fueron incluidos solamente cuando la temperatura esofágica permaneció dentro de $2^\circ C$ de la temperatura inicial y cuando la PAM, PVC, PCPC y FC no tenían variaciones mayores que el 20% de su valor control.

Análisis estadístico. El análisis estadístico de los datos incluyó los valores absolutos (media $\pm$ error estándar) de la PAM (mm Hg), PaO_2 (KPa) y $PaCO_2$ (KPa), PVC (cmH₂O) y PCPC (mm Hg), $PtcO_2$ (KPa) y $PtcCO_2$ (KPa), temperatura ($^\circ C$) y FC (min) determinados durante el control y el mantenimiento (Cuadro I). el contraste de las diferencias se hizo con la prueba de t para datos correlacionados, y la correlación de los valores transcutáneos con los arteriales se expresó mediante el coeficiente de correlación (r) de Pearson.¹⁹

RESULTADOS

La relación entre las determinaciones transcutáneas y arterial de la PO_2 y la PCO_2 , fue lineal con pendiente positiva en las diferentes condiciones que se estudiaron.

Relación entre el $PtcO_2$ y la PaO_2

En el control, la asociación de estas variables nos dio una r de 0.86 ($p < 0.01$), y la recta de regresión de la $PtcO_2$ sobre PaO_2 queda definida por la siguiente ecuación:

$PtcO_2 = 0.87PaO_2 + 1.86$ (figura 1). Durante el transanestésico, la correlación fue de 0.63 ($p < 0.05$) y la ecuación de regresión correspondiente es: $PtcO_2 = 1.03 PaO_2 + 2.07$ (figura 2).

Relación entre la $PtcCO_2$ y la $PaCO_2$

En el control se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.90 ($p < 0.01$), y la ecuación de la recta de re-

gresión queda determinada por: $PtcCO_2 = 1.40 PaCO_2 + 1.06$ (figura 3). Durante el mantenimiento, el coeficiente r fue de 0.80 ($p < 0.01$), y la ecuación de regresión queda expresada por:

$$PtcCO_2 = 1.32PaCO_2 + 1.44 \text{ (figura 4).}$$

No hubo diferencias significativas entre el control y mantenimiento de la temperatura, PAM, PVC, PCPC y FC (cuadro I).

DISCUSION

Electrodos para la determinación de gases. Principios de operación. La determinación de la PO₂ se basa en la reducción del oxígeno en la punta del microelectrodo catódico, donde genera una corriente proporcional a la tensión de oxígeno en el medio que lo rodea. En la punta del electrodo, el oxígeno difunde a la superficie activa polarizada, donde es reducido y se forma H₂O con H₂O₂ como intermedio activo. La liberación de electrones desde el oxígeno genera una pequeña corriente, que puede ser medida con un ammetro sensible.¹²

CUADRO I

VALORES ABSOLUTOS (MEDIA ± ERROR ESTANDAR) DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS EN EL ESTUDIO DURANTE EL CONTROL Y MANTENIMIENTO

PAM	85.80 ± 0.47	82.60 ± 0.35
PaO ₂	8.51 ± 0.38	42.11 ± 1.61**
PaCO ₂	4.12 ± 0.22	3.55 ± 0.17*
PVC	8.54 ± 0.07	8.62 ± 0.10
PCPC	10.93 ± 0.10	9.86 ± 0.13
PtcO ₂	12.11 ± 1.79	45.80 ± 3.10**
PtcCO ₂	6.88 ± 0.38	6.11 ± 0.32*
TEMP	37.60 ± 1.00	36.20 ± 1.10
FC	81 ± 6	90 ± 9

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

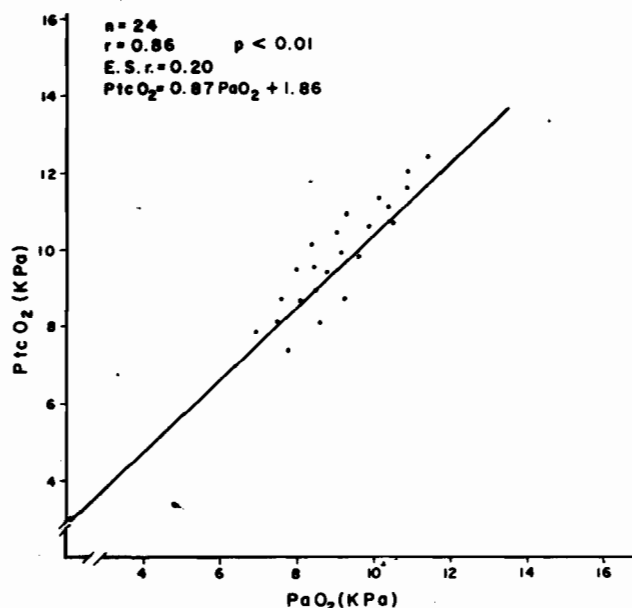


Figura 1. Correlación entre PO₂ transcutánea (PtcO₂) y PO₂ arterial (PaO₂) en 20 pacientes adultos durante el control (bajo medicación preanestésica a base de diazepam y atropina IM y respirando espontáneamente una FiO₂ = 0.21). n = pares de estimaciones. r = coeficiente de correlación. E.S.r. = error estándar de r . p = significancia de los cambios. $PtcO_2 = 0.87 PaO_2 + 1.86$ es la ecuación de regresión que define la relación lineal.

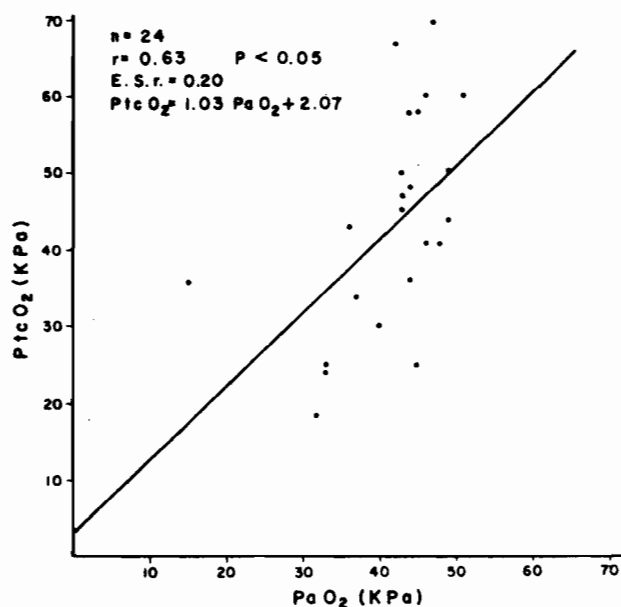


Figura 2. Correlación entre la PtcO₂ y PaO₂ durante el mantenimiento anestésico con halotano y oxígeno-óxido nítrico al 50% en circuito semicerrado y respiración controlada. Los estadígrafos son los mismos que en la figura 1.

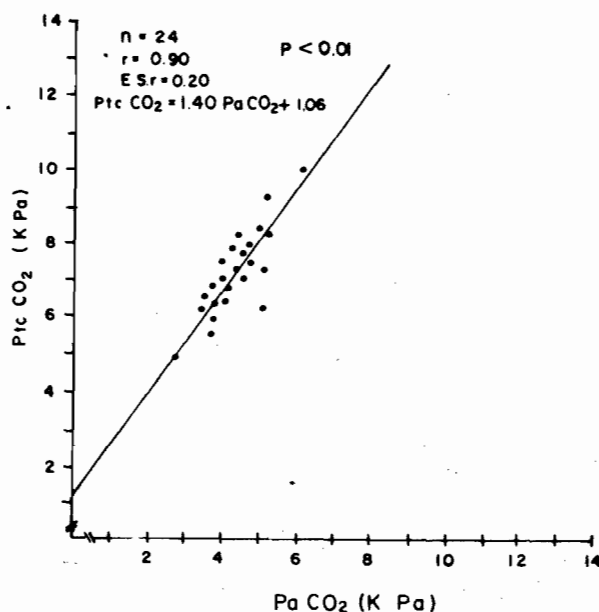


Figura 3. Correlación entre la PtcCO₂ y PaCO₂ en el control. Las condiciones y estadígrafos son los mismos que en la figura 1.

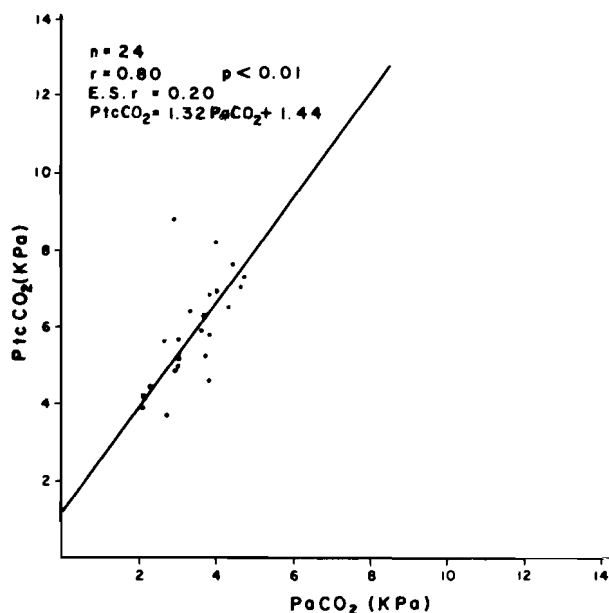


Figura 4. Correlación entre la $PtcCO_2$ y $PaCO_2$ durante el mantenimiento. Las condiciones y estadígrafos son los mismos que en la figura

El CO_2 liberado desde la piel difunde a través de la membrana de plástico del electrodo, a la solución electrolítica, donde reacciona con H_2O para formar ácido carbónico (H_2CO_3) que se disocia en iones H^+ y HCO_3^- .

Los iones H^+ crean un potencial entre el electrodo de vidrio pH-sensible y el electrodo de referencia $Ag-AgCl$. Este potencial es medido con un voltímetro de alta impedancia y es proporcional al logaritmo de la PCO_2 . De acuerdo con los principios de operación, los electrodos están midiendo una reacción de óxido-reducción, y por tanto, cualquier compuesto que sea significativamente oxidado o reducido puede generar una corriente y activar los electrodos.⁷

Efectos de la oxigenación, ventilación y agentes anestésicos. Durante el mantenimiento disminuyó el coeficiente de correlación r de la PO_2 y PCO_2 , lo cual puede interpretarse como una disminución en el grado de asociación entre la determinación arterial y transcutánea de estos agentes. Estos efectos pueden estar relacionados con las condiciones de oxigenación y ventila-

ción presentes en el mantenimiento anestésico y también con el efecto de los agentes anestésicos utilizados. Estudiando el efecto de la oxigenación y ventilación sobre la correlación de la PaO_2 con la $PtcCO_2$, Patel y col.⁴ y Messner y col.³ encontraron que la hiperoxia ($PaO_2 > 100$ torr) y la hipocapnia ($PaCO_2 < 30$ torr) disminuyen significativamente el grado de asociación entre la determinación arterial y transcutánea de la PO_2 ; lo cual según Gothgen y col.⁵ se debe a las modificaciones que sufre la curva de disociación de la oxihemoglobina. En relación con la PCO_2 , la correlación de la $PaCO_2$ con la $PtcCO_2$ es más resistente que la PO_2 y solamente cambios profundos en la circulación periférica y metabolismo tisular pueden afectar adversamente esta correlación.

Los agentes anestésicos inhalados también afectan la lectura de la PO_2 y PCO_2 , así Maekawa y col.¹³ y Douglas y col.¹⁴ reportan que el halotano, independientemente de la concentración, puede dar sobrelecturas de PO_2 hasta del 40%, lo cual según McHugh y col.¹² se debe a que el halotano siendo un hidrocarburo brominado fácilmente es reducido, y en esta forma activa los electrodos. Por otro lado, Evans y Cameron¹⁵ señalan que el electrodo de PO_2 es altamente sensible al N_2O , dando sobrelecturas muy significativas de acuerdo con la concentración del agente. Lane¹⁶ y Sergejev⁹ estudiando la influencia de los agentes anestésicos sobre la PO_2 y PCO_2 recomiendan utilizar una membrana de teflón en la punta del electrodo, utilizar un voltaje de polarización ligeramente más bajo y recalibrar frecuentemente el aparato, con el objeto de minimizar la interferencia de los agentes anestésicos.

De acuerdo con nuestros resultados podemos concluir que la determinación transcutánea de gases durante el transanestésico, no sustituye a la determinación arterial, ya que, a pesar de mantener estables la temperatura y la hemodinamia central y periférica, disminuye significativamente la correlación transcutánea y arterial por influencia de otros factores inherentes al procedimiento anestésico, como son la hiperoxia e hipocapnia, así como el efecto per se de los agentes anestésicos inhalados sobre la sensibilidad de los electrodos. Sin embargo, debemos considerar que la determinación transcutánea nos ofrece la posibilidad de llevar un monitoreo continuo y no invasivo de la PO_2 y PCO_2 .

REFERENCIAS

1. ROTH G: Continuous transcutaneous monitoring of PO_2 and PCO_2 . Acta anaesth scand 1978; 70: Suppl 175-179.
2. ELETR S: Cutaneous gas measurements. En: Gravenstein S J Newbome S R, Ream K A, Smith T A: Essential noninvasive monitoring in anesthesia. New York. Grune and Stratton, Inc. 1980, pp. 163-181.
3. MESSNER T J, LOUX C P, GROSSMAN B L: Intraoperative transcutaneous PO_2 monitoring in infants. Anesthesiology 1979; 51: S319.
4. PATEL P K, VENUS B, PRATAP S K, KONCHIGERI N H: Cutaneous PO_2 monitoring during pediatric cardiac surgery. Anesthesiology 1980; 53:S343.
5. GOTHGEN I, DEGN H, JACOBSEN E, RASMUSSEN P J: Transcutaneous oxygen measurement during thoracic anaesthesia. Acta anaesth

- Scand 1980; 24:491-494.
6. GOLDMAN D M, GRIBBIN R H, MARTIN J R, LOH L: *Transcutaneous PCO₂ in adults*. Anaesthesia 1982; 37:944-946.
7. CLUTTON-BROCK H T, RUTHALIA S V S: *Transcutaneous carbon dioxide monitoring*. Br J Hosp Med 1984; 31:225-229.
8. SERGEJEV P I: *Monitoring of respiratory function during anaesthesia*. Int Anesth Clin 1980; 6:31-59.
9. STAVRINGHAUS W J, PEABODY L J, THUNSTROM M A, STAFFORD M: *Transcutaneous oxygen measurements: calibration analysis and electrode stabilization methods*. Acta Anaesth Scand 1978; 70: Suppl. 180-182.
10. HUTCHISON S C D, ROCCA G, HONEYBOURNE: *Estimation of arterial oxygen tension in adult subjects using a transcutaneous electrode*. Thorax 1981; 36:473-477.
11. DOWNIE M N, HEATH W R: *Métodos estadísticos aplicados*. 1ª Ed., México. Harper and Row Latinoamericana. 1973.
12. McHUGH D R, EPSTEIN M R, LONGNECKER E D: *Halothane mimics oxygen in oxygen microelectrodes*. Anesthesiology 1979; 50:47-49.
13. MAEKAWA T, OKUDA Y, McDOWALL G D: *Effect of low concentrations of halothane on the oxygen electrode*. Br J Anaesth 1980; 52:585-587.
14. DOUGLAS S H I, MCKENZIE J P, LEDINGHAM MCA J, SMITH G: *Effect of halothane on PO₂ electrode*. Lancet 1978; 1370-1371.
15. EVANS C M, CAMERON R I: *Oxygen electrodes sensitive to nitrous oxide*. Lancet 1978; 1371:1213.
16. LANE L G, SAMRA K S, TAIT R A, BOLLES E R: *How reliable is transcutaneous PO₂ during anaesthesia*. Anesthesiology 1980; 53: S329.