

Comparación entre la ventilación mecánica con y sin presión positiva al final de la espiración y el gradiente de dióxido de carbono en laparoscopia

Joel Valentín Chávez Vega,* José Salvador Juárez Pichardo,** Sonia Licona Ortiz*

RESUMEN

Antecedentes: El uso de presión positiva al final de la espiración (PEEP) durante la ventilación mecánica en cirugía laparoscópica contribuye a la disminución del gradiente EtCO₂-PaCO₂. **Objetivo:** Se compararon los valores de la diferencia entre EtCO₂ y PaCO₂ usando ventilación mecánica con y sin PEEP en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica electiva. **Material y métodos:** Se realizó un estudio longitudinal comparativo con un total de 22 pacientes programados para colecistectomía laparoscópica, los cuales se distribuyeron en dos grupos de forma aleatorizada: 1, de estudio, ventilación mecánica con volumen control a 6.6 mL/kg de peso más 8 cmH₂O de PEEP; 2, control, ventilación mecánica con volumen control a 6.6 mL/kg de peso. Se evaluó el volumen tidal administrado, la frecuencia respiratoria promedio, PaCO₂, EtCO₂ y presión de neumoperitoneo. El análisis estadístico se llevó a cabo por medio de la U de Mann-Whitney a través del programa SPSS versión 22. **Resultados:** No se encontró diferencia estadísticamente significativa en el gradiente EtCO₂ y PaCO₂ entre el grupo que utilizó PEEP y el que no. **Conclusiones:** Es probable que no existan diferencias importantes en la brecha EtCO₂ y PaCO₂ cuando se utiliza ventilación mecánica por volumen control con o sin PEEP. El valor de PaCO₂ puede ser más bajo que el valor de EtCO₂.

Palabras clave: Dióxido de carbono espiratorio final, presión arterial de dióxido de carbono, ventilación mecánica, presión positiva al final de la espiración, cirugía laparoscópica.

Nivel de evidencia: III

Comparison between mechanical ventilation with and without positive end-expiratory pressure and the gradient of carbon dioxide in laparoscopy

ABSTRACT

Background: The use of positive end-expiratory pressure during mechanical ventilation in laparoscopic surgery contributes to the decrease of the gradient end-tidal carbon dioxide (EtCO₂)-arterial blood pressure of carbon dioxide (PaCO₂). **Objective:** We compared the values of the difference between EtCO₂ and PaCO₂ using mechanical ventilation with and without positive end-expiratory pressure (PEEP) in patients undergoing elective laparoscopic surgery. **Material and methods:** A comparative, longitudinal study was conducted, which included a total of 22 patients scheduled for laparoscopic cholecystectomy, who were divided randomly into two groups: 1, mechanical ventilation with volume control 6.6 mL/kg, with 8 cmH₂O of PEEP; 2, mechanical ventilation with volume control 6.6 mL/kg. The tidal volume delivered, average breathing rate, PaCO₂, EtCO₂, and pneumoperitoneum pressure were evaluated. Statistical analysis was performed with the Mann-Whitney U test through the SPSS program version 22. **Results:** No statistically significant difference was found in the EtCO₂ and PaCO₂ gradient in the groups that used PEEP against those who did not use it. **Conclusions:** There are likely no significant differences in the gap between EtCO₂ and PaCO₂ when using mechanical ventilation by volume control with or without PEEP. The value of PaCO₂ may be lower than that of EtCO₂.

Key words: End-tidal carbon dioxide, arterial blood pressure of carbon dioxide, mechanical ventilation, positive end-expiratory pressure, laparoscopic surgery.

Level of evidence: III

Correspondencia: Dr. Joel Valentín Chávez Vega

Hospital General «Dr. Belisario Domínguez»

Av. Tláhuac Núm. 4866, Col. San Lorenzo Tezonco, Del. Iztapalapa, 09790, Ciudad de México. Celular: +521 55 6538 4610

E-mail: joelsatrianijs@hotmail.com

Abreviaturas:

CO₂ = Dióxido de carbono.

EtCO₂ = Dióxido de carbono espiratorio final, por sus siglas en inglés.

PaCO₂ = Presión arterial de dióxido de carbono.

PEEP = Presión positiva al final de la espiración, por sus siglas en inglés.

* Médico anestesiólogo. Hospital de Especialidades «Belisario Domínguez», Secretaría de Salud de la Ciudad de México.

** Médico anestesiólogo. Centro Médico ABC, *The American British Cowdry Medical Center*, IAP. Campus Santa Fe. Servicio de Anestesiología del Hospital General de Zona Núm. 32, «Dr. Mario Madrazo Navarro», IMSS.

Recibido para publicación: 27/04/2017. Aceptado: 22/08/2017.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en:
<http://www.medicgraphic.com/analesmedicos>

ANTECEDENTES

En una revisión bibliográfica realizada por Cochrane, se menciona que la cirugía laparoscópica es ampliamente aceptada como método para tratar diferentes enfermedades de la cavidad abdominal.

El primer paso para la realización de una cirugía laparoscópica es distender el abdomen, para proveer suficiente espacio para la visualización y la manipulación de las estructuras. El dióxido de carbono (CO_2) ha sido el gas más usado para la insuflación del neumoperitoneo. A su vez, el CO_2 ha sido asociado a varios cambios en los parámetros fisiológicos que pueden afectar la mecánica ventilatoria y cardiovascular, así como la presencia de dolor abdominal tras la cirugía, por cantidades de CO_2 aún presentes en la cavidad.¹

Dentro de los cambios respiratorios que ocurren por la insuflación del abdomen con CO_2 se encuentran la disminución de la distensibilidad pulmonar, reducción de la capacidad residual funcional, lo que conduce a la generación de atelectasias, alteración en la relación ventilación-perfusión e hipoxemia.² Durante el neumoperitoneo, el CO_2 es absorbido, causando un incremento en la presión arterial de CO_2 (PaCO_2), lo cual, a su vez, se exacerba por la alteración entre la relación ventilación-perfusión.³

La brecha (también llamada diferencia o gradiente) entre el CO_2 espirado (EtCO_2) y el arterial (PaCO_2) aumenta cuando el espacio muerto incrementa. De hecho, la brecha entre EtCO_2 y PaCO_2 varía con el paso del tiempo en el mismo paciente.⁴

La capnografía provee información valiosa acerca de la eficiencia de la ventilación. El EtCO_2 puede ser usado como guía para el mantenimiento del volumen minuto durante la ventilación mecánica. Se considera que la PaCO_2 excede el nivel de EtCO_2 ; esto se debe a la difusión del CO_2 , pasando de un nivel de relativamente alta presión a uno de baja presión; de los capilares pulmonares a los alveolos. El espacio muerto anatómico y fisiológico se incrementa al aumentar la edad, lo cual, a su vez, puede aumentar el gradiente entre PaCO_2 y EtCO_2 . Por lo anterior, hay autores que mencionan que la monitorización con capnografía debe tomarse cautelosamente como indicador fiel de la PaCO_2 . Como es sabido, la concentración inhalada de oxígeno, así como el uso de PEEP, afectan el volumen del espacio muerto alveolar.⁵

En pacientes sanos se menciona que el gradiente $\text{EtCO}_2\text{-PaCO}_2$ varía entre dos y cinco mmHg.⁶

Se ha dicho que la hipocapnia se limita a casos específicos desde que sus efectos deletéreos han sido reportados, no sólo a nivel cerebral, sino también el compromiso hemodinámico que se presenta.⁷ La hipocapnia asociada a hiperventilación y, por ende, a alcalosis respiratoria tiene un amplio rango de efectos fisiológicos, incluyendo aumento de la presión intracerebral, disminución del flujo sanguíneo cerebral, disminución del consumo de oxígeno cerebral y también del metabolismo cerebral.⁸ Cambios agudos en el equilibrio ácido-base inducen efectos reguladores en la estructura y función de proteínas y enzimas, las cuales llevan funciones celulares específicas, tales como glicólisis, gluconeogénesis, mitosis, síntesis de DNA, etcétera.⁹

La hiperventilación con hipocapnia puede causar vasodilatación, lo cual, a su vez, puede ocasionar reducción del retorno venoso, disminución del llenado ventricular, prolongación del intervalo QT y arritmias cardíacas.¹⁰

Se han realizado estudios en pacientes en los que se han utilizado volúmenes corrientes bajos durante procedimientos quirúrgicos; se ha encontrado disminución de complicaciones postoperatorias, incluyendo la atenuación de la respuesta inflamatoria, mejora de la función pulmonar y la minimización potencial de la disminución de la saturación de oxígeno.¹¹

Durante la ventilación mecánica se ha utilizado el capnógrafo como instrumento de medición para evaluar constantemente la presión de CO_2 a nivel pulmonar; sin embargo, es probable que el nivel de CO_2 espirado no tenga una relación directa con la presión arterial de CO_2 ; inclusive, puede haber mayor variabilidad usando diferentes modos ventilatorios. Aunada a esto, se encuentra la situación de que durante una intervención quirúrgica por vía laparoscópica se utiliza comúnmente CO_2 para crear el neumoperitoneo para poder tener visión directa de los órganos intraabdominales, lo que ocasiona un aumento de la presión de CO_2 en sangre arterial y, por lo tanto, altera el gradiente $\text{EtCO}_2\text{-PaCO}_2$.²

Es factible comprobar si existe una relación directa entre los niveles de CO_2 y EtCO_2 durante una cirugía laparoscópica, ya que en los hospitales donde se realiza este tipo de intervenciones se cuenta con los aditamentos necesarios para realizar una correlación entre estas variables, y al llevarse a cabo esta investigación se puede proponer ajustar el manejo anestésico en este tipo de pacientes y, con esto, saber si el uso de PEEP modifica el gradiente $\text{EtCO}_2\text{-PaCO}_2$ durante la ventilación mecánica en la cirugía laparoscópica.

MATERIAL Y METODOS

Previa autorización por parte del Comité de Ética del Hospital de Especialidades «Belisario Domínguez», con folio de registro 501-010-01-16 de los Servicios de Salud de la Ciudad de México, se realizó un estudio observacional, analítico, longitudinal, comparativo, prospectivo, bajo el siguiente procedimiento: se registraron todos los pacientes captados en el área de hospitalización del Servicio de Cirugía General que estuvieron programados para colecistectomía laparoscópica electiva durante el periodo del 1º de marzo hasta el 31 de mayo de 2016 en el Hospital de Especialidades «Belisario Domínguez». Fue un total de 22 pacientes divididos en dos grupos. Todos los pacientes fueron mayores de 20 años de edad, programados para colecistectomía laparoscópica; se incluyeron aquéllos con una valoración preanestésica desde ASA I hasta ASA II, con un índice de masa corporal (IMC) menor a 30 kg/cm²; se excluyeron aquéllos con patologías cardiacas y pulmonares. El tiempo de cirugía, en general, fue mayor a 50 minutos. Los pacientes fueron distribuidos en dos grupos, balanceados de manera aleatoria por muestreo simple sin reemplazo:

Grupo 1 o de estudio: ventilación mecánica con volumen control a 6.6 mL/kg de peso más 8 cmH₂O de PEEP, con una frecuencia respiratoria inicial de 12 rpm.

Grupo 2 o control: ventilación mecánica con volumen control a 6.6 mL/kg de peso y sin PEEP, con una frecuencia respiratoria inicial de 12 rpm.

El manejo anestésico fue de la siguiente manera:

Premedicación: midazolam 30 µg/kg IV, narcosis: fentanil 3 µg/kg IV, inducción: propofol 1.5 mg/kg IV, relajación neuromuscular: vecuronio 80 µg/kg IV, mantenimiento: sevoflurano 1 CAM, fentanil dilución 500 µg en 100 mL con bomba Baxter® de infusión de 0.039 a 0.065 µg/kg/min, FiO₂ al 40%.

Posteriormente a la inducción, se realizó técnica de Allen con ultrasonido con transductor lineal de 10 MHz para localizar la arteria radial, se canalizó con catéter intravascular 22 G con técnica aseptica y se obtuvieron gasometrías arteriales (GA), codificadas de acuerdo al momento en que se reportaron:

GA 1: antes de la insuflación del neumoperitoneo.

GA 2: a los 15 minutos de iniciado el neumoperitoneo.

GA 3: a los 30 minutos de iniciado el neumoperitoneo.

GA 4: a los 45 minutos de iniciado el neumoperitoneo.

Se registró la presión del neumoperitoneo y la frecuencia respiratoria en los momentos descritos.

En ambos grupos, se determinó la diferencia entre los valores de EtCO₂ y PaCO₂ durante la ventilación mecánica en modo volumen control con y sin uso de PEEP, antes y después de la insuflación abdominal del neumoperitoneo.

Se definieron como valores normales aquéllos donde la brecha o diferencia se encontraba entre 2-5 mmHg; elevados, valores mayores a 5 mmHg, y bajos, aquellos menores a 2 mmHg.

RESULTADOS

Dentro de las variables que se utilizaron (peso, edad, talla, género, peso predicho, volumen corriente y frecuencia respiratoria), se analizó si había diferencia estadística por medio de U de Mann-Whitney, dando un valor de p mayor a 0.05, por lo que se concluye que no hay diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos y que eran homogéneos entre sí (*Cuadro I*).

No se encontró diferencia estadísticamente significativa en cada uno de los momentos comentados previamente en cuanto a la diferencia EtCO₂-PaCO₂, ni antes ni después de la insuflación de la cavidad peritoneal con CO₂. Durante el proceso se modificó la frecuencia respiratoria del ventilador para mantener un valor de CO₂ espirado entre 30 y 32 mmHg. Esto nos demuestra que no existen cambios en el gradiente de EtCO₂-PaCO₂ en los grupos de estudio y que el uso de PEEP no interfiere y no es indispensable durante la cirugía laparoscópica (*Cuadro II*).

Cuadro I. Descripción general de la población.

Variables	Grupo 1 n = 13		Grupo 2 n = 9		Valor estadístico
	Mediana (mín./máx.)	Mediana (mín./máx.)	Mediana (mín./máx.)	Mediana (mín./máx.)	
Peso	70 (50/86)	60 (52/86)	60 (52/86)	60 (52/86)	0.421 ^a
Edad	46 (40/55)	48 (42/55)	48 (42/55)	48 (42/55)	0.365 ^a
Talla	1.53 (1.5/1.67)	1.58 (1.5/1.67)	1.58 (1.5/1.67)	1.58 (1.5/1.67)	0.401 ^a
Género	13 100%	8 88%	8 88%	8 88%	0.000 ^b
Peso predicho	46 (43.3/58)	50.54 (43.3/58.6)	50.54 (43.3/58.6)	50.54 (43.3/58.6)	0.401 ^a
Volumen tidal	303 (288/387)	333.5 (286/387)	333.5 (286/387)	333.5 (286/387)	0.401 ^a
Frecuencia respiratoria	18 (14/24)	17 (14/24)	17 (14/24)	17 (14/24)	0.219 ^a

Se reportaron los valores arriba mencionados en los cuales se analizó estadísticamente con el método de U de Mann Whitney.

^a U de Mann-Whitney. ^b Exacta de Fisher.

Cuadro II. Diferencia entre los valores de EtCO₂-PaCO₂ en los diferentes momentos (GA).

	Momento 1			Momento 2			Momento 3			Momento 4		
	entre 2 y 5 mmHg		> 5 mmHg	entre 2 y 5 mmHg		> 5 mmHg	entre 2 y 5 mmHg		> 5 mmHg	entre 2 y 5 mmHg		> 5 mmHg
	< 2 mmHg			< 2 mmHg		> 5 mmHg	< 2 mmHg		> 5 mmHg	< 2 mmHg		> 5 mmHg
Con PEEP (n = 13)	3	5	5	5	2	6	3	5	5	4	5	4
Sin PEEP (n = 9)	5	2	2	6	2	1	6	2	1	5	3	1
p			0.191			0.18			0.094			0.15

Se muestran los datos reportados en los distintos momentos (M) y su valor estadístico (p > 0.05) por medio de U de Mann Whitney. No se observan valores significativos en la diferencia del gradiente en los momentos estudiados.

DISCUSIÓN

Hoy en día, como se ha mencionado, la cirugía laparoscópica se prefiere sobre la cirugía «abierta». Se ha propuesto en la Norma Oficial Mexicana que dicho procedimiento se lleve a cabo bajo anestesia general, ya que se puede contar con una monitorización más completa, incluyendo el análisis del CO₂ espirado, así como el control de la vía aérea y, por ende, también una mayor comodidad para el paciente y el cirujano.¹²

En nuestro estudio se encontró un predominio de mujeres en cuanto al género en ambos grupos; esto corresponde con la literatura médica de pacientes que padecen colelitiasis.¹³

Nuestros pacientes tuvieron una homogeneidad aceptable en cuanto a variables tales como el peso, talla y edad, y por lo tanto, de los parámetros que se modificaron para control ventilatorio (hablamos en este caso del peso predicho, el volumen corriente y las frecuencias respiratorias); contamos con una distribución de variables bastante parecida al estudio realizado por Gung⁶ y contrastamos con el trabajo de Satoh,⁴ donde incluyeron a pacientes en los extremos de la vida.

En cuanto al control de la vía aérea y la capnometría/capnografía, se ha mencionado en varios artículos⁴⁻⁶ que generalmente se ha encontrado que los valores de CO₂ espirado son más bajos con respecto a los valores arteriales de CO₂, habiendo entre ellos una diferencia desde dos hasta cinco mmHg; sin embargo, nosotros hallamos que las diferencias entre uno y otro pueden variar más de lo reportado en la actualidad, incluso hasta más de 8 mmHg, o en ocasiones, invirtiendo la relación, siendo el CO₂ espirado más alto que el valor arterial de CO₂, con una diferencia entre uno y dos mmHg.

Se analizó si existía diferencia en la brecha EtCO₂-PaCO₂ tanto en los pacientes que fueron someti-

dos a ventilación mecánica sin uso de PEEP como en aquéllos en los que no se utilizó PEEP; se concluyó que no hay diferencia estadísticamente significativa en ningún momento del procedimiento, ni antes de la insuflación del neumoperitoneo ni después de la insuflación del mismo.

Con lo anterior pudimos observar que no se encuentran diferencias estadísticamente significativas en cuanto a los valores arteriales de CO₂ y CO₂ espirado, modificando la ventilación mecánica con o sin uso de PEEP; sin embargo, lo anterior se debe tomar con reserva debido al número de pacientes: se necesitan más para poder completar un mayor tamaño de muestra y que los resultados obtenidos tengan mayor significancia estadística.

La PEEP ha sido utilizada como una medida para fomentar el reclutamiento alveolar y disminuir el número de atelectasias, principalmente en pacientes que son sometidos a cirugías laparoscópicas, donde se ve comprometida la distensibilidad pulmonar por la aplicación de CO₂ en la cavidad abdominal,² al igual que en la posición de Trendelenburg, así como en otro tipo de pacientes, como los obesos (en quienes, por su masa, se ve comprometida la mecánica ventilatoria debido a la compresión de las estructuras torácicas). Sin embargo, el uso de PEEP debe ser cauteloso, ya que puede comprometer el gasto cardíaco,² al igual que aumentar la posibilidad de causar barotrauma.

En el artículo de Vázquez-García y Pérez-Padilla que habla sobre los valores gasométricos en las diferentes poblaciones de México, se ha mencionado que en la Ciudad de México se maneja un valor promedio de PaCO₂ de 30 mmHg, con un rango estrecho que va de los 29 hasta los 30 mmHg.¹⁴

Desde el advenimiento de la monitorización digital en anestesiología, se ha propuesto la utilización de medios cada vez más sofisticados para darnos una

idea más cercana del estado interno del paciente, incluyendo, en este caso, el uso de la capnografía; como se ha indicado con anterioridad, la PaCO_2 excede los valores de CO_2 espirado debido a la difusión del CO_2 , pasando de un nivel de relativamente alta presión a uno de más baja presión, de los capilares a los alveolos; sin embargo, se ha cuestionado cuál es la diferencia habitual entre estos dos valores y se ha comentado en distintos artículos³⁻⁶ que esto puede variar por distintos parámetros que pueden presentarse durante el evento anestésico. En este trabajo se encontró que la diferencia entre estos dos valores puede ir desde valores invertidos hasta mayores a ocho mmHg.

CONCLUSIÓN

No existen diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la brecha EtCO_2 y PaCO_2 con ventilación mecánica por volumen control sin PEEP y con PEEP.

El CO_2 espirado puede ser en ocasiones más alto que el valor de CO_2 arterial.

Lo anterior se debe tomar con reserva debido a que se necesita un mayor tamaño de muestra para que los resultados obtenidos tengan mayor relevancia estadística.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cheng Y, Lu J, Xiong X, Wu S, Lin Y, Wu T et al. Gases for establishing pneumoperitoneum during laparoscopic abdominal surgery. Cochrane Database of Systematic Reviews. [Consultado el 04 de mayo de 2017] [Edición en línea]. 2013; 31(1): [53 páginas]. Disponible en: http://www.cochrane.org/CD009569/COLOCA_different-gases-for-insufflation-into-the-abdominal-cavity-during-laparoscopic-abdominal-surgery
2. Geng G, Hu J, Huan S. Effects of different inhaled oxygen concentration and end-expiratory positive pressure on $\text{Pa}_{\text{et}}\text{CO}_2$ in patients undergoing gynecological laparoscopic surgery. Int J Clin Exp Med. 2013; 6 (10): 956-959.
3. Hayden P, Cowman S. Anaesthesia for laparoscopic surgery, continuing education in anaesthesia. BJA Education. 2011; 11 (5): 177-180.
4. Walsh BK, Crotwell DN, Restrepo RD. Capnography/capnometry during mechanical ventilation: 2011. Respir Care. 2011; 56 (4): 503-509.
5. Satoh K, Ohashi A, Kumagai M, Sato M, Kuji A, Joh S. Evaluations of differences between PaCO_2 and ETCO_2 by age as measured during general anesthesia with patients in a supine position. Journal of Anesthesiology. [Consultado el 26 de febrero de 2017]. [Edición en línea]. 2015. [5 páginas] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/710537>
6. Razi E, Moosavi G, Omidi K, Saebi A, Razi A. Correlation of end-tidal carbon dioxide with arterial carbon dioxide in mechanically ventilated patients. Arch Trauma Res. 2012; 1 (2): 58-62.
7. Solano M, Castillo I, Niño de Mejía M. Hypocapnia in neuroanesthesia: Current situation. Rev Colomb Anestesiol. 2012; 40 (2): 137-144.
8. Grüne F, Kazmaier S, Sonntag H, Stolker RJ, Weyland A. Moderate hyperventilation during intravenous anesthesia increases net cerebral lactate efflux. Anesthesiology. 2014; 120 (2): 335-342.
9. Aristizábal R, Calvo L, Valencia L, Montoya M, Barbosa O, Hincapié BV. Acid-base equilibrium: The best clinical approach. Colombian Journal of Anesthesiology. 2015; 43 (3): 219-224.
10. Way M, Hill G. Intraoperative end-tidal carbon dioxide concentrations: what is the target? Anesthesiol Research and Practice. [Consultado el 03 de marzo de 2016]. [Edición en línea]. 2011. [3 páginas]. Disponible en: URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2011/271539>
11. Tao T, Bo L, Chen F, Xie Q, Zou Y, Hu B et al. Effect of protective ventilation on posoperative pulmonary complications in patients undergoing general anaesthesia: a meta-analysis of randomised controlled trial. BMJ. 2014; 4 (6): e005208.
12. Norma Oficial Mexicana 006-SSA3-201 para la práctica de la anestesiología. Diario Oficial de la Federación. Consultada el 04/05/17. [Edición en línea]. 2012. [12 páginas]. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5240668&fecha=23/03/2012
13. López G, Zavalza JF, Paipilla O, Lee S. Laparoscopic cholecystectomy accomplished in ambulatory unit surgery. Cirujano General. 2011; 33 (2): 104-110.
14. Vázquez JC, Pérez R. Estimated values for blood gas main towns and sites more altitude in Mexico. Rev Inst Nal Resp Mex. 2000; 13 (1): 6-13.