

Monitorización del dióxido de carbono espirado durante la ventilación no invasiva en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica agudizada

Monitoring of the carbon dioxide exhaled during the non invasive ventilation in patients with acute chronic obstructive lung disease

Zadis Navarro Rodríguez^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-6320-9547>

Julio Cesar González Aguilera² <https://orcid.org/0000-0003-3914-2631>

Lázaro Ibrahim Romero García¹ <https://orcid.org/0000-0002-3248-3110>

¹Hospital Provincial Clínico-Quirúrgico Docente Saturnino Lora Torres. Santiago de Cuba, Cuba.

²Hospital Provincial General Carlos Manuel de Céspedes. Granma, Cuba.

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: zadis.navarro@infomed.sld.cu

RESUMEN

Introducción: La monitorización del dióxido de carbono espirado se utiliza con frecuencia en las unidades de cuidados intensivos, pero su empleo en ventilación no invasiva es escaso.

Objetivo: Identificar la asociación entre la presión arterial de dióxido de carbono y el dióxido de carbono espirado, durante la ventilación no invasiva, en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica agudizada.

Métodos: Se realizó un estudio observacional, descriptivo, longitudinal y prospectivo de 126 pacientes ingresados con enfermedad pulmonar obstructiva crónica agudizada, tratados con ventilación no invasiva en la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital Provincial Clínico-Quirúrgico Docente Saturnino Lora Torres de Santiago de Cuba, desde enero de 2019 hasta igual mes de 2022, seleccionados por muestreo

intencional no probabilístico. Se analizaron variables clínicas, ventilatorias y hemogasométricas, de las cuales se identificaron los valores mínimo y máximo, así como la media, la desviación estándar y la mediana. Se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson.

Resultados: Los valores promedio de dióxido de carbono espirado fueron $57,83 \pm 8,9$ y los de presión arterial de dióxido de carbono, de $59,85 \pm 9,3$. Al analizar la correlación entre las variables se observó correlación positiva entre ambas, para un coeficiente de correlación de Pearson de 0,920.

Conclusiones: La monitorización del dióxido de carbono espirado se erige como una variable a considerar en la monitorización de los pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica agudizada, tratados con ventilación no invasiva, siempre que se utilice la máscara facial adecuada y se controlen las fugas, con fuerte correlación con la presión arterial del dióxido de carbono.

Palabras clave: ventilación no invasiva; capnografía; enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

ABSTRACT

Introduction: The monitoring of the carbon dioxide exhaled is frequently used in the intensive cares units, but its use in non invasive ventilation is scarce.

Objective: To identify the association between the blood pressure of carbon dioxide and the carbon dioxide exhaled, during non invasive ventilation, in patients with acute chronic obstructive lung disease.

Methods: An observational, descriptive, longitudinal and prospective study of 126 patients admitted with acute chronic obstructive lung disease was carried out, they were treated with non invasive ventilation, in the Intensive Cares Unit of Saturnino Lora Torres Teaching Provincial Clinical-Surgical Hospital in Santiago de Cuba, from January, 2019 to the same month in 2022, selected by intentional non probabilistic sampling. Clinical, ventilatory and hemogasometric variables were analyzed, of which the minimum and maximum values were identified, as well as the mean, standard and medium deviation. The Pearson correlation coefficient was applied.

Results: The average values of carbon dioxide exhaled were 57.83 ± 8.9 and those of arterial pressure of carbon dioxide, 59.85 ± 9.3 . When analyzing the correlation among the variables, positive correlation was observed among both, for a Pearson correlation coefficient of 0.920.

Conclusions: The monitoring of carbon dioxide exhaled acts as a variable to consider in the monitoring of patients with acute chronic obstructive lung disease, treated with non invasive ventilation, whenever the appropriate face mask is used and the leaks are controlled, with strong correlation with the arterial pressure of the carbon dioxide.

Key words: non-invasive ventilation; capnography; chronic obstructive lung disease.

Recibido: 20/05/2022

Aprobado: 03/08/2022

Introducción

La presión arterial de dióxido de carbono (PaCO_2) es el estándar de oro para valorar la ventilación. La medición continua del dióxido de carbono (CO_2) espirado proporciona un método esencial e incruento de valorar la ventilación, ya sea como un valor numérico que es la capnometría, o como una curva de capnografía. Desde los primeros estudios clínicos, en los comienzos de los años 70, se ha empleado para monitorizar a pacientes intubados en el medio hospitalario, primero en Europa y, desde los años 80, en Estados Unidos de Norteamérica. A partir de 1995, el *American College of Emergency Physicians* indicó el uso habitual de la capnografía en el paciente intubado, tanto en el medio hospitalario como extrahospitalario. En la actualidad se utiliza con diferentes fines, a saber: monitorización de la parada cardiorrespiratoria, clasificación, valoración y control del tratamiento en las crisis de broncoespasmo, control de la colocación correcta del tubo endotraqueal (TET) y detección oportuna de la extubación accidental durante un traslado.^(1,2,3,4)

El avance tecnológico permite obtener medidas de CO₂ exhalado fiables, tanto en pacientes intubados como no intubados, y se desarrollan monitores portátiles, especialmente indicados para los servicios de emergencia médica. Algunos autores ya catalogan a la capnometría como el sexto signo vital, con potencialidad para mejorar la estratificación del riesgo en el ámbito de las emergencias.^(2,3,5)

Sin embargo, en las enfermedades pulmonares con un defecto predominantemente ventilatorio, causado por un aumento en la resistencia al flujo aéreo (broncoespasmo o secreciones) y/o por una alteración en la distensibilidad del tejido pulmonar (enfisema), las unidades pulmonares presentan distintas constantes de tiempo y se vacían de manera irregular y descoordinadas entre sí, algunas de forma rápida; mientras que otras necesitan más tiempo y muchas veces no se vacían completamente durante el ciclo respiratorio, de ahí que esta falta de homogeneidad es la responsable del aumento en el espacio muerto alveolar y, por ende, de la morfología del capnograma.^(6,7,8,9)

La ventilación no invasiva (VNI) es una modalidad de soporte respiratorio que no emplea tubo endotraqueal, dispositivos supraglóticos o cánula de traqueotomía, donde la interacción del paciente y la ventilación se produce a través de una máscara. Esta necesita, al igual que la ventilación invasiva, de monitorización continua e incluye la oxigenación y la PaCO₂. Todos los referentes sobre la medición de CO₂ espirado se sitúan en la ventilación invasiva y son escasos los estudios en ventilación no invasiva, pues la mayoría se realizan en ventilación domiciliaria, pero sin extenderse al contexto agudo.^(3,4,10,11)

Aunque hipotéticamente la relación entre el CO₂ espirado y la PaCO₂ debe mantenerse, la presencia de fugas y el uso de máscaras no ideales podrían provocar que el resultado no sea el esperado. Recientemente, Sakuraya *et al*,⁽¹²⁾ en investigación realizada en una población sana, al comparar el método convencional de capnografía con uno más novedoso, y utilizar una máscara facial con una copa interna para recolectar el aire exhalado, demostraron que existe una correlación mayor que con las máscaras convencionales, pero este nuevo método aún no ha sido evaluado en entornos clínicos.

Hasta el momento, la capnografía durante la VNI está infrautilizada y son escasas las investigaciones donde se ha empleado. Los autores de este artículo no encontraron publicaciones en Cuba que valoren el CO₂ espirado y su relación con la PaCO₂ en ventilación no invasiva y lo consideran un parámetro a tener en cuenta, por lo cual realizaron el presente estudio con vistas a identificar la asociación entre la presión arterial de CO₂ y el CO₂ espirado, durante la ventilación no invasiva, en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica agudizada.

Métodos

Se realizó un estudio observacional, descriptivo, longitudinal y prospectivo de 126 pacientes ingresados con EPOC agudizada, tratados con ventilación no invasiva en la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital Clínico-Quirúrgico Docente Saturnino Lora Torres de Santiago de Cuba, desde enero de 2019 hasta igual mes de 2022.

La muestra se seleccionó por muestreo intencional no probabilístico. Se incluyeron aquellos con el diagnóstico señalado, según las guías españolas de la EPOC y que recibieron tratamiento con ventilación no invasiva; mientras que se excluyeron los que presentaron contraindicaciones para dicha ventilación. A todos los escogidos se les aplicó el protocolo establecido de VNI y el tratamiento estandarizado para la EPOC agudizada.^(13,14)

Se realizó gasometría arterial durante la segunda hora de tratamiento con ventilación no invasiva y se determinó el CO₂ espirado por el panel disponible en los monitores Doctus VI, VII y Nihon Kohden por muestreo central en línea; igualmente, se seleccionó el valor de CO₂ espirado que coincidía temporalmente con la toma de muestra para la gasometría arterial y se utilizó como interface la máscara nasobucal indicada en el contexto de la emergencia, además de ventiladores convencionales con programa para ventilación no invasiva. Por otra parte, se analizaron variables clínicas, ventilatorias y hemogasométricas, de las cuales se identificaron los valores mínimo y máximo, así como la media, la desviación estándar y la mediana. Se aplicó el

coeficiente de correlación de Pearson y los resultados se procesaron con el programa estadístico SPSS, versión 22.0.

Resultados

Al analizar las variables ventilatorias y hemogasométricas (tabla) se observó que los valores promedio del CO₂ espirado y de la PaCO₂ resultaron ser de 57,8 ± 8,9 y 59,8 ± 9,3, respectivamente.

Tabla. Caracterización de las variables clínicas ventilatorias y hemogasométricas

Variables	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Mediana
Frecuencia cardiaca (latidos/minuto)	87,0	155,0	123,1	19,0	125,5
Frecuencia respiratoria(respiraciones/minuto)	30,0	42,0	33,4	4,7	36,0
Escala de coma de Glasgow	10,0	15	13,6	1,6	15,0
Saturación pulsioximetría/FiO ₂	180,0	457,0	324,8	55,7	320,0
CO ₂ espirado(mmHg)	40,0	84	57,8	8,9	55,0
PaO ₂ /FiO ₂	160,0	400	262,2	54,8	250,0
pH	7,19	7,40	7,2	0,04	7,29
PaCO ₂ (mmHg)	43,0	85,0	59,8	9,3	57,0
Nivel promedio de PEEP/EPAP (cmH ₂ O)	3,0	6,0	4,7	0,7	5,0
Nivel de promedio P/PEEP/IPAP(cmH ₂ O)	6,0	16,0	10,1	2,1	10,0
Volumen corriente espirado promedio por peso ideal (mL/kg)	4,0	9,0	6,8	1,3	7,0

FiO₂: fracción inspiratoria de oxígeno; pH: logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno; PEEP/EPAP: presión positiva al final de la espiración; P/PEEP/IPAP: presión de insuflación.

También se encontró correlación positiva entre el CO₂ espirado y la PaCO₂, para un coeficiente de correlación de Pearson de 0,920 (Fig.)

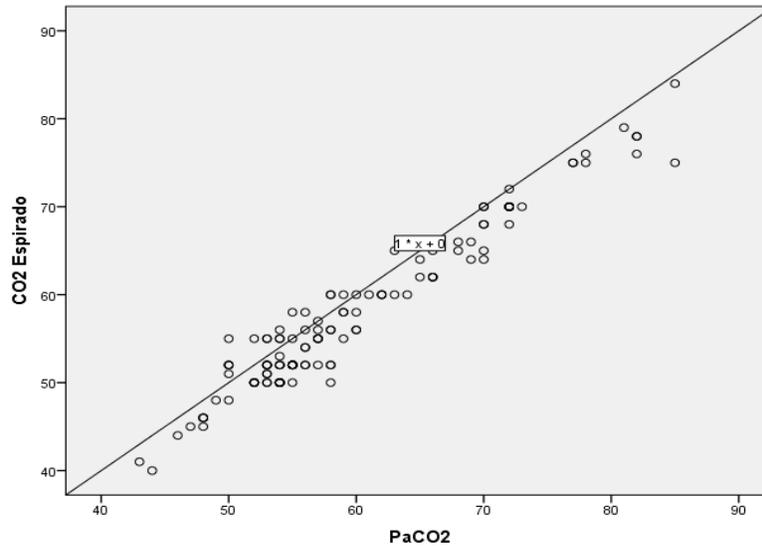


Fig. Correlación entre el CO₂ espirado y la PaCO₂

Discusión

Donde más ha sido estudiado el CO₂ espirado es en la ventilación invasiva y en la domiciliaria; también se ha empleado para confirmar la correcta posición del tubo endotraqueal en la intubación, monitorizar la ventilación durante la sedación y valorar la efectividad de las compresiones torácicas.^(3,6,10,15)

Autores como Schwarz *et al*⁽¹⁵⁾ señalan que en dependencia del tipo de sensor, en pacientes con EPOC, vaciamiento incompleto pulmonar y desequilibrio ventilación-perfusión, se puede infraestimar la PaCO₂ a partir del CO₂ espirado, tanto en ventilados como no ventilados; sin embargo, Esquinas⁽¹³⁾ explica que estas dificultades se pueden solucionar, por lo que sugiere tener en cuenta el tipo y tamaño de la máscara —las buconasales son las óptimas y se emplean en pacientes con enfermedad aguda—, el sitio de muestreo y la localización de la exhalación. En pacientes no intubados, la capnografía proporciona información sobre la frecuencia respiratoria, obstrucción de las vías respiratorias (broncoespasmo), apnea, hipoventilación/hiperventilación, ventilación del espacio muerto y eficacia de la VNI sobre la ventilación y eliminación de CO₂.

Por su parte, Nuccio *et al.*⁽¹¹⁾ en su análisis sobre ventilación domiciliaria y CO₂ espirado identificaron que el principal problema que generaba diferencias entre este último y la PaCO₂ era la reinhalación de CO₂ que se produce al utilizar ventiladores de un solo circuito; situación que no ocurre en la insuficiencia respiratoria aguda al utilizarse circuitos de doble tubuladura que evitan esta dificultad.

El nivel de CO₂ depende del balance entre su producción y eliminación. Así, el CO₂ que se produce en las mitocondrias es transportado por la sangre venosa hacia los alvéolos, el cual se difunde a través de un gradiente de concentración en el espacio alveolar y se elimina por la ventilación. Normalmente, la sangre que abandona los alvéolos ventilados se mezcla con la del parénquima pulmonar y con la que pasa por los alvéolos no ventilados, de manera que se crea una mezcla venosa, la cual explica la diferencia alveoloarterial normal de presión de CO₂, que varía entre 2 y 5 mmHg, con una concentración final de CO₂ menor que el valor arterial. Esta diferencia es útil debido a que aporta información adicional acerca del paciente. Por tanto, puede ser considerada como índice del espacio muerto alveolar y estos cambios significativos deben ser estudiados desde el punto de vista clínico.^(4,6,7,16)

La determinación de la presión teleespiratoria de CO₂ (PETCO₂) permite monitorizar la presión de CO₂ alveolar y, por tanto, la PaCO₂, por las propiedades físicas de este gas de difundirse fácilmente a través de la membrana alveolocapilar. Los valores de la PaCO₂ y la PETCO₂ presentan una buena correlación estadística entre sí y, de hecho, en pacientes con una función pulmonar normal, independientemente de la edad, la PETCO₂ es un fiel reflejo de la PaCO₂, por lo que constituye un elemento de monitorización no invasivo potencialmente útil.^(3,4,9,17)

El valor de presión espirada de CO₂ medido por capnografía es el valor medio alveolar de CO₂ de un amplio espectro de alvéolos, con diferentes niveles de ventilación y perfusión. La medición continua del CO₂ espirado proporciona un método esencial y, a la vez incruento, de valorar la ventilación. En algunos trabajos publicados,^(10,18,19,20) se ha observado que los valores de la PaCO₂ y la PET CO₂ presentan una buena correlación estadística entre sí.

En centros de salud donde la gasometría arterial no esta disponible de manera permanente, este parámetro puede ser empleado para la monitorización continua de los enfermos tratados con ventilacion no invasiva.

Se concluye que la monitorización del CO₂ espirado es una variable a considerar en los pacientes con EPOC agudizada tratados con ventilación no invasiva, siempre que se utilice la máscara facial adecuada y se controlen las fugas, con fuerte correlación con la presión arterial del CO₂.

Referencias bibliográficas

1. Yao JJ, Meng PM, Zou G H, He KX, Ma DD. Effects of flow on carbon dioxide washout and nasal airway pressure in healthy adult volunteers during the constant-flow mode in a non-invasive ventilator. Chin Med J. 2020 [citado 09/03/2022];133(20):2515-17. Disponible en: <https://medcentral.net/doi/epdf/10.1097/CM9.0000000000001079>
2. Díaz Cedeño HI, Monroy Pesantez MF, Macías Ponce D I, Tuarez Villegas IL. Utilidad de la capnografía en urgencias. RECIMUNDO. 2019 [citado 15/03/2022];3(3): 218-38. Disponible en: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/598>
3. Borsini E, Codinardo C, Rabec C. Monitoreo de la ventilación no invasiva. RAMR 2021 [citado 15/03/2022];1:83-93 Disponible en: http://www.ramr.org/articulos/volumen_21_numero_1/suplemento_guias/capitulo_10.pdf
4. Benites Albanese MH, Poblete Barrera F, Céspedes Valenzuela RC, Gil D, Riquelme C, Olive F, et al. Capnografía volumétrica y su aplicación en la monitorización de la ventilación mecánica. Rev Chil Med Intens. 2019 [citado 15/03/2022]; 34(3):1-10. Disponible en: <https://www.medicina-intensiva.cl/revista/pdf/2.pdf>
5. Núñez García V. Caracterización del aporte de las compresiones torácicas al valor de CO₂ espirado final durante la reanimación cardiopulmonar. [Tesis Maestría] Universidad del País Vasco, 2021 [citado 15/03/2022]. Disponible en: <https://addi.ehu.es/handle/10810/52712?show=full>

6. Caro Alonso PA, Rodríguez Martín B. El dióxido de carbono al final de la espiración como signo precoz y valor pronóstico de la recuperación de la circulación espontánea en la parada cardiaca extrahospitalaria. Una revisión sistemática. Rev. Esp. Salud Pública. 2021 [citado 15/03/2022];95(1). Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272021000100186
7. Rabec CA, Reybet Degata O, Bonniaud P, Fanton A, Camus P. Monitorización de las fugas en ventilación no invasiva. Arch Bronconeumol. 2004 [citado 09/03/2022];40(11):508-17. Disponible en: <https://www.archbronconeumol.org/es-monitorizacion-fugas-ventilacion-no-invasiva-articulo-resumen-S0300289604755829>
8. Bernabe Vera L. ¿Cuál es la relación entre el volumen tidal espiratorio medio y la tasa de aclaramiento de pCO₂ en los pacientes sometidos a ventilación mecánica no invasiva? [Tesis Doctoral]. Murcia: Universidad Miguel Hernández; 2017 [citado 20/02/2022]. Disponible en: <http://dspace.umh.es/jspui/bitstream/11000/4344/1/BERNABE%20VERA%2c%20LORENA%20.pdf>
9. Sánchez Vallejo A. Aproximación a la ventilación mecánica. Monitorización de la asistencia ventilatoria. Tiempos de Enfermedad y Salud. 2019 [citado 20/02/2022]; 1(5). Disponible en: <https://tiemposdeenfermeriaysalud.es/journal/article/view/20>
10. Ergan B, Oczkowski S, Rochweg B, Carlucc A, Chatwin M, Clini, E, et al. European Respiratory Society guidelines on long-term home non-invasive ventilation for management of COPD. Eur Respir J. 2019 [citado 09/03/2022]; 54. Disponible en: <https://erj.ersjournals.com/content/erj/54/3/1901003.full.pdf>
11. Nuccio P, Hochstetler G, Jackson M. End-tidal CO₂ measurements with noninvasive ventilation. In: Abstracts presented at the International Symposium “Innovations and applications of monitoring oxygenation and ventilation” (ISIAMOV), Duke University, Durham, NC, March 15–17, 2007. Anesth Analg. 2007 [citado 09/03/2022];105(6):111-5. Disponible en: <https://journals.lww.com/anesthesia->

[analgesia/Citation/2007/12001/Abstracts Presented at the International Symposium.16.aspx](#)

12. Sakuraya M, Douno E, Iwata W, Takaba A, Hadama K, Kawamura N. Accuracy evaluation of mainstream and sidestream end-tidal carbon dioxide monitoring during noninvasive ventilation: a randomized crossover trial (MASCAT-NIV trial). *J Intensive Care*. 2022 [citado 09/03/2022];10(1):17. Disponible en:

<https://jintensivecare.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s40560-022-00603-w.pdf>

13. Esquinas AM. *Noninvasive Mechanical Ventilation: Theory, Equipment, and Clinical Applications*. 2 ed. Switzerland: Springer International Publishing; 2016 [citado 06/04/2022].p.851. Disponible en:

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-21653-9>

14. Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) GOLD 2020, GESEPOC 2021; 2021 [citado 04/03/2022]. Disponible en: <https://1aria.com/images/entry-pdfs/epoc-2021-gold-2020-gesepoc-2021.pdf>

15. Schwarz SB, Windisch W, Magnet FS, Schmoor C, Karagiannidis Ch, Callegari J, et al. Continuous non-invasive PCO₂ monitoring in weaning patients: transcutaneous is advantageous over end-tidal PCO₂. *Respirology*. 2017 [citado 09/03/2022]; 22(8): 1579-84. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28613389/>

16. Van der Leest, S, Duiverman ML. High-intensity non-invasive ventilation in stable hypercapnic COPD: Evidence of efficacy and practical advice. *Respirology*. 2019 [citado 09/03/2022];24:318–28. Disponible en:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/resp.13450>

17. Baba Y, Takatori F, Masayuki Inoue M, Matsubara I. A Novel Mainstream Capnometer System for Non-invasive Positive Pressure Ventilation. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2020 [citado 09/03/2022];2020: 4446-9. Disponible en:

<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9175950>

18. Borel JCh, Palot A, Patout M. Technological advances in home non-invasive ventilation monitoring: Reliability of data and effect on patient outcomes. *Respirology*,

2019 [citado 09/03/2022]; 24(12), 1143–51. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/resp.13497>

19. Radogna AV, Siciliano PA, Sabina S, Sabato E, Capone S. A low-cost breath analyzer module in domiciliary non-invasive mechanical ventilation for remote COPD patient monitoring. *Sensors*. 2020. [citado 09/03/2022]; 20(3), 653. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/3/653>

20. Aarrestad S. Monitoring long-term nocturnal non-invasive ventilation for chronic hypercapnic respiratory failure: What are the basic tools? 2020. [Tesis. University of Oslo]. [citado 09/03/2022] Disponible en: <https://www.duo.uio.no/handle/10852/74185>

Conflicto de intereses

Los autores no declaran conflictos de intereses.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Zadis Navarro Rodríguez y Julio Cesar González Aguilera
2. Curación de datos: Zadis Navarro Rodríguez
3. Análisis formal: Zadis Navarro Rodríguez y Julio Cesar González Aguilera
4. Adquisición de fondos:
5. Investigación: Zadis Navarro Rodríguez
6. Metodología: Zadis Navarro Rodríguez y Lázaro Ibrahim Romero García
7. Administración del proyecto:
8. Supervisión: Zadis Navarro Rodríguez
9. Validación: Zadis Navarro Rodríguez
10. Visualización: Zadis Navarro Rodríguez y Julio Cesar González Aguilera
11. Redacción–borrador original: Zadis Navarro Rodríguez
12. Redacción–revisión y edición: Zadis Navarro Rodríguez y Lázaro Ibrahim Romero García

