

USO DE CAPNOGRAFÍA VOLUMÉTRICA EN UNIDAD DE CUIDADO INTENSIVO ADULTO. TUNJA, COLOMBIA - 2018

ADRIANA SOFÍA VALERO ORTIZ¹, SANDRA PATRICIA CORREDOR GAMBA²,
LAURA JIMENA SILVA RODRÍGUEZ³, CARLOS OSWALDO ALBARRACÍN FERNÁNDEZ⁴,
ANGIE VANESSA OTÁLORA DÍAZ⁵.

Recibido para publicación: 23-04-2021 - Versión corregida: 10-05-2022 - Aprobado para publicación: 15-05-2022

Valero-Ortiz A.S., Corredor-Gamba S.P., Silva-Rodríguez L.J., Albarracín-Fernández C.O., Otálora-Díaz A.V. **Uso de capnografía volumétrica en unidad de cuidado intensivo adulto. Tunja, Colombia. 2018.** Arch Med (Manizales). 2021; 22(1):28-36.

<https://doi.org/10.30554/archmed.22.1.4236.2022>

Resumen

Introducción: la capnografía volumétrica es una prueba funcional no invasiva que permite monitorizar cambios ventilatorios y estado clínico del paciente en función del metabolismo, perfusión y ventilación. **Objetivo:** caracterizar el uso clínico de la capnografía volumétrica en unidad de cuidado intensivo adulto de la Empresa Social del Estado Hospital Universitario San Rafael de Tunja, periodo 2016–2017. **Métodos:** estudio transversal prospectivo con fase analítica, universo de estudio conformado por pacientes monitorizados con capnografía volumétrica, muestra calculada a través de fórmula para población finita correspondiente a 46 pacientes. **Resultados:** el sexo masculino prevalece sobre el femenino, con edad promedio de 45 años (DE 19,2), el 91,3% de los pacientes presentaron patología pulmonar de tipo restrictivo, el parámetro de capnografía más utilizado para el manejo ventilatorio fue el volumen alveolar y el slope de dióxido de carbono para seguimiento de la ventilación/ perfusión, además se encontró relación estadísticamente significativa entre el espacio muerto fisiológico y el volumen minuto alveolar, y entre el slope y la patología respiratoria. **Conclusiones:** la capnografía volumétrica en la UCI se usa como herramienta para el análisis de la cinética del dióxido de carbono, siendo el volumen alveolar el parámetro más utilizado

-
- 1 Universidad de Boyacá. Mg. Dirección estratégica con énfasis en prevención de riesgos laborales. Docente Titular. Universidad de Boyacá, Colombia. Integrante grupo de investigación OXIGENAR. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3626-8626>
 - 2 Universidad de Boyacá. Mg. Actividad física: entrenamiento y gestión deportiva. Docente Asistente. Universidad de Boyacá, Colombia. Integrante grupo de investigación OXIGENAR. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1382-0986>
 - 3 Secretaría de Salud Departamental de Boyacá. Maestrante en Dirección estratégica en organizaciones de salud. Integrante grupo de investigación OXIGENAR. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4918-021>
 - 4 Hospital Universitario San Rafael Tunja. Terapeuta Respiratorio. Servicio de Urgencias. Hospital Universitario San Rafael de Tunja ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2675-8592>
 - 5 Universidad de Boyacá. Terapeuta Respiratoria. Egresada Universidad de Boyacá. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4068-3048>

para seguimiento del reclutamiento alveolar y efectividad del intercambio gaseoso. Se puede inferir la subutilización de los demás parámetros monitorizados, los cuales permiten establecer información relevante y aplicativa para la vigilancia y seguridad del paciente crítico en ventilación mecánica en función del metabolismo y perfusión.

Palabras clave: capnografía, ventilación mecánica, perfusión, cuidado intensivo, metabolismo basal (Fuente: MeSH).

Use of volumetric capnography in adult intensive care unit. Tunja, Colombia - 2018

Summary

Introduction: *volumetric Capnography noninvasive functional test that allows monitoring ventilatory changes and clinical status of the patient according to metabolism, perfusion and ventilation.* **Objective:** *to characterize the clinical use of volumetric capnography in adult intensive care unit of the Empresa Social del Estado Hospital Universitario San Rafael de Tunja period 2016-2017.* **Methods:** prospective cross-sectional study with analytical phase, study universe comprised of patients monitored with volumetric capnography, sample calculated through formula for finite population corresponding to 46 patients. **Results:** *the male sex prevails over the female sex, with mean age of 45 years (SD 19,2), 91,3% of patients presented restrictive pulmonary pathology, the most used capnography parameter for ventilatory management was alveolar volume and carbon dioxide slope for monitoring ventilation/ perfusion, in addition there was statistically significant relationship between physiological dead space and alveolar minute volume, and between slope and respiratory pathology.* **Conclusions:** *volumetric capnography in the ICU is used as a tool for the analysis of carbon dioxide kinetics, with alveolar volume being the most commonly used parameter for monitoring alveolar recruitment and gas exchange effectiveness. It is possible to infer the underutilization of the other monitored parameters, which allow establishing relevant and applicable information for the surveillance and safety of the critical patient on mechanical ventilation in terms of metabolism and perfusion.*

KEYWORDS: *capnography, Respiration artificial, Perfusion, Critical care, Basal Metabolism (Fuente: MeSH).*

Introducción

La capnografía volumétrica (VCap), prueba funcional que proporciona en tiempo real la visualización continua y no invasiva de la concentración del dióxido de carbono, es fundamental en la monitorización del intercambio gaseoso, metabolismo, perfusión y estado hemodinámico del paciente en unidad de cuidado intensivo (UCI). Actualmente la vigilancia y se-

guridad en la UCI para los pacientes críticos en monitorización durante la ventilación mecánica (VM) ha evolucionado de manera importante, dando lugar al uso de nuevas herramientas como la Vcap, permitiendo seguimiento ventilatorio e intervenciones terapéuticas apropiadas, influyendo de manera adecuada en la mejora de la función pulmonar y cardiovascular del paciente críticamente enfermo [1-3]

Esta prueba ha sido utilizada en diferentes servicios de atención hospitalaria como urgencias, salas de cirugía y UCI. Los primeros estudios clínicos realizados por SmallHout y Kalenda en los años 70 en Europa y 80 en Estados Unidos reportan monitorización de pacientes intubados en el medio hospitalario mediante esta prueba funcional. En 1991 la Sociedad Americana de Anestesiología considera la capnografía como un estándar de atención en el quirófano junto con la oximetría de pulso, y la American Heart Association (AHA) recomienda su utilización desde el año 2000 en el manejo del paro cardiorrespiratorio y tratamiento cardiovascular urgente tanto intra-hospitalaria como extra hospitalariamente [4].

La VCap se introdujo en el mercado a mediados de los 90, incluyendo los primeros dispositivos "all-mainstream" (Novametrix, Wallingford, CT, CT) [5-7]. Como ventaja sobre la convencional resalta que permite el análisis del comportamiento de la dinámica del dióxido de carbono, análisis del espacio muerto de manera directa y secuencia de la respiración, variables dispuestas e integradas en el capnograma volumétrico, que define la forma de la gráfica y alteraciones relacionadas con enfermedades y cambios en el estado pulmonar. En los pacientes soportados por VM se pueden evidenciar a través de esta prueba cambios en la morfología pulmonar, generada por factores como función de la sustancia tensoactiva, volúmenes pulmonares, parámetros del ventilador o patología pulmonar [8].

En el medio clínico a pesar de su gran utilidad, es poco reconocida y las variables medidas pueden estar siendo subutilizadas; además, existen entidades donde no se cuenta con la tecnología para su medición; el Hospital Universitario San Rafael de Tunja única entidad en el departamento de Boyacá que cuenta con Ventiladores de última generación y dispositivos all-mainstream permite en tiempo real la medición de múltiples variables a través de la VCap, por lo que el objetivo de la investigación fue caracterizar el uso clínico de la VCap en la

UCI Adulto de la E.S.E Hospital Universitario San Rafael de Tunja en el año 2016 – 2017.

Material y métodos

Se realizó un estudio transversal prospectivo de fase analítica, con muestreo no probabilístico por conveniencia. El universo de estudio estuvo conformado por los pacientes monitorizados con VCap en la UCI adulto del Hospital Universitario San Rafael de Tunja entre 2016 a 2017. Se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia y los criterios de inclusión correspondieron a pacientes sometidos a ventilación mecánica monitorizados con Vcap durante el periodo del estudio, con autorización previa, bajo consentimiento informado. Los de exclusión fueron pacientes con soporte ventilatorio no invasivo. La población universo fue de 200 pacientes monitorizados con Vcap que ingresaron a la Unidad de Cuidado Intensivo del Hospital Universitario San Rafael de Tunja en el periodo de estudio. Aplicando la fórmula de tamaño de muestra para población finita y variables cualitativas se obtuvo una muestra de 46 pacientes con una confiabilidad del 95% y un margen de error del 5%. Se tomaron los datos en el momento de ingreso de los pacientes y a través de la monitoría del ventilador mecánico; se recolectaron en un instrumento diseñado por los investigadores, los cuales dieron respuesta a los objetivos planteados. Luego los datos fueron almacenados en la base de microsoft office excel y transportados al paquete estadístico SPSS versión 24. El proyecto contó con el aval por parte del comité de Bioética de la Universidad de Boyacá y del comité de Bioética e investigación de la entidad hospitalaria, según la normatividad nacional sobre los aspectos éticos en investigación [9]. Las variables del estudio se centraron en aspectos demográficos como edad, sexo, patología respiratoria y monitorización a través de VCap (ventilación, metabolismo y perfusión), mediciones realizadas en un solo momento a través de ventilador Hamilton C3 con dispositivo de monitorización all-mainstream de VCap.

Análisis estadístico

Se realizó análisis univariado a través de medidas de tendencia central, media, mediana, desviación estándar, porcentajes e intervalos de confianza; para el análisis bivariado se aplicaron los estadísticos prueba de Shapiro – Wilk, coeficiente de correlación de Pearson y método de Wilcoxon.

Resultados

La VCap como prueba funcional permite establecer en tiempo real y de manera directa el comportamiento de variables que evidencian el funcionamiento apropiado de procesos fisiológicos como ventilación e intercambio gaseoso. Parámetros como espacio muerto anatómico, fisiológico, alveolar y volumen minuto alveolar, permiten evaluar de manera eficaz la eficiencia ventilatoria, visibles en la fase I, II y III del capnograma volumétrico. En esta fase también es posible establecer cambios de perfusión y resistencia de la vía aérea. De igual manera, la Vcap permite monitorizar el metabolismo a través de parámetros como el VCO₂ el cual indica metabolismo celular en condiciones aerobias y anaerobias, visible en la fase III del capnograma. Finalmente, la VCap monitoriza la perfusión pulmonar como el gasto cardiaco mediante parámetros como el SLOP CO₂ visibles en el capnograma en la fase II y III [1] [10].

De acuerdo a lo descrito se presentan los resultados de investigación, relacionados con la base científica y utilidad de la VCap en el contexto clínico del cuidado crítico (ver Tabla 1).

Tabla 1. Características demográficas

Variable	VCap (n= 46)	IC 95%
Sexo / Edad*	45,0 ± 19,2	39,3 – 50,1
Sexo		
Mujeres (%)	35,0	21,7 – 47,8
Hombres (%)	65,0	52,2 – 78,3

*Los datos son expresados en media ± desviación estándar

Fuente: los autores (procesamiento estadístico SPSS 24)

De los 46 pacientes el sexo masculino prevalece sobre el femenino, con edades que oscilaron entre 19 y 94 años, con promedio de 45 años (DE 19,2)

Patología respiratoria monitorizada con Vcap

La patología respiratoria monitorizada con VCap evidencia que el 91,30% [IC95% 87,4 – 94,5] de los pacientes presentaron patología pulmonar de tipo restrictivo, destacándose enfermedades como síndrome de dificultad respiratoria del adulto, neumonía y trauma de tórax entre otras. En relación a las patologías obstructivas en el 8,7% [IC95% 5,4 – 12,5] prevalecen la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y obstrucción de vía aérea superior, logrando de esta manera inferir que la VCap es una herramienta de monitoreo integral usada tanto para patología restrictiva como obstructiva, ver Tabla 2.

Los parámetros de ventilación monitorizados con la Vcap fueron espacio muerto fisiológico, volumen alveolar, volumen minuto alveolar y relación volumen de espacio muerto/volumen corriente. En referencia al espacio muerto fisiológico, se observa en la población una distribución heterogénea; teniendo en cuenta que el espacio muerto fisiológico oscila normalmente entre 20% a 30% del volumen corriente, es evidente que gran parte de los pacientes se encuentran en rango de normalidad; sin embargo, para el valor máximo obtenido en 48% del volumen corriente es indiscutible la presencia de alteración en el proceso ventilatorio.

De acuerdo a los valores obtenidos frente al volumen alveolar en la población estudiada, es importante referir que a partir de este volumen y teniendo en cuenta el peso ideal del paciente se realizan cambios ventilatorios que propenden por la mejoría de la efectividad en la ventilación. En cuanto al volumen minuto alveolar y la relación volumen de espacio muerto/volumen corriente, se evidenció una distribución homogénea, lo cual denota normalidad, permitiendo

comprobar un volumen efectivo y con ello un adecuado intercambio gaseoso.

Tabla 2. Parámetros ventilación, metabolismo y perfusión monitorizados con Vcap

Variable	Resultados (n= 46)	
Parámetros de ventilación		
Espacio muerto fisiológico (%)	Mediana	121,5
	Q1	107,50
	Q3	150,0
Volumen alveolar (%)	Mediana	367,0
	Q1	265,0
	Q3	417,0
Volumen minuto (%)	Mediana	6,10
	Q1	4,60
	Q3	7,80
Volumen espacio muerto anatómico/volumen corriente (%)	Mediana	26,2
	Q1	20,3
	Q3	33,0
Parámetros de metabolismo		
Concentración fraccionada de CO ₂ al final del volumen corriente (%)	Mediana	7,0
	Q1	5,80
	Q3	8,20
Volumen inspirado de CO ₂ (%)	Mediana	3,41
	Q1	2,48
	Q3	4,50
Volumen espirado de CO ₂ (%)	Mediana	10,36
	Q1	8,14
	Q3	13,2
Eliminación minuto de CO ₂ (%)	Mediana	142,5
	Q1	109,3
	Q3	183,0
Presión parcial de CO ₂ al final del volumen corriente (%)	Mediana	35,7
	Q1	31,0
	Q3	42,0
Parámetro de perfusión		
SLOPE CO ₂ pendiente CO ₂ (%)	Mediana	3,40
	Q1	1,90
	Q3	5,30
Q1 Primer cuartil o percentil 25, Q3 Tercer cuartil o percentil 75.		

Fuente: los autores (procesamiento estadístico SPSS 24).

Los parámetros de metabolismo monitorizados con la Vcap fueron concentración fraccionada de dióxido de carbono al final del volumen corriente, volumen inspirado de dióxido de carbono, volumen espirado de dióxido

de carbono, eliminación minuto de dióxido de carbono y presión parcial de dióxido de carbono al final del volumen corriente; es evidente que un aumento de sus valores normales indican una mayor producción de dióxido de carbono, lo cual puede darse por agitación, dolor, fiebre, signos presentes en patologías observadas en la población estudiada como: shock séptico y síndrome convulsivo.

El parámetro monitorizado con la Vcap permite evaluar la perfusión es el SLOPE de dióxido de carbono; se evidenció que existe alteración en la perfusión, mostrándose un flujo heterogéneo debido a patologías de tipo obstructivo y restrictivo.

Parámetro de VCap utilizado en el manejo ventilatorio

El parámetro más utilizado fue el volumen alveolar, infiriendo una posible subutilización de los demás parámetros monitorizados en la población, los cuales generan información relevante en su medida y directa aplicación práctica, para la toma de decisiones en el manejo del paciente crítico en VM.

Tabla 3. Relación espacio muerto fisiológico - volumen minuto alveolar

	Valor Pearson	p
Espacio muerto fisiológico / volumen minuto alveolar	0,437	0,002

Fuente: los autores (procesamiento estadístico SPSS 24)

En la **Tabla 3** aparece la relación entre el espacio muerto fisiológico y el volumen minuto alveolar, medido a través de la VCap.

Las patologías obstructivas reportaron SLOPE de CO₂ en un rango menor a las restrictivas, encontrándose entre 0,4 y 5,1 con una mediana de 1,95; mientras que en las restrictivas estaban entre 0,7 y 19,7 con una mediana de 3,45.

Con la finalidad determinar la relación entre el SLOPE de CO₂ y el tipo de patología respi-

ratoria, inicialmente se identificó la normalidad de las variables a través de la prueba Shapiro - Wilk, evidenciando que ninguna de las cantidades muestrales tuvo distribución normal; por tanto, para determinar la relación entre ellas se empleó el método de Wilcoxon, encontrando una relación estadísticamente significativa entre el SLOPE de CO₂ y el tipo de patología respiratoria, pudiendo evidenciar la heterogeneidad de la relación ventilación- perfusión, de acuerdo a la entidad patológica presentada por los pacientes evaluados.

Tabla 4. Relación SLOPE de CO₂ - tipo de patología respiratoria

	Z	P
SLOPE de CO ₂ / Tipo de patología	- 5,780	0,00

Fuente: los autores (procesamiento estadístico SPSS 24)

Discusión

La VCap, herramienta útil en el contexto clínico para la medición de espacio muerto fisiológico, anatómico, alveolar y volumen minuto alveolar, permite generar un análisis funcional de la eficiencia del intercambio gaseoso [11]. También, es utilizada para el seguimiento de la progresión de enfermedad pulmonar evaluando la respuesta de la relación espacio muerto/volumen corriente después de generar cambios a nivel ventilatorio; además, discrimina a las personas sanas de aquellas con patología pulmonar como fibrosis quística, bronquiectasia, EPOC, fibrosis pulmonar y asma, entre otras [12].

A su vez, la medición de la cinética del dióxido de carbono permite la evaluación y seguimiento continuo de la ventilación, perfusión y metabolismo, siendo un factor elemental para la detección precoz de la intubación orotraqueal, medición de la ventilación eficaz, evaluación de los efectos benéficos o adversos que puede generar la ventilación mecánica, destete ventilatorio, titulación de presión positiva al final de espiración, reclutamiento

alveolar, conocimiento de cambios del estatus cardiorrespiratorio y determinación óptima de la estrategia ventilatoria [13-14].

Se puede considerar que la monitorización de datos como el espacio muerto anatómico permiten el seguimiento de la ventilación y alteraciones causadas por patologías de tipo obstructiva o anomalías técnicas del dispositivo. Su relación con el volumen corriente (VD/VT) y volumen alveolar muestran la ventilación alveolar efectiva y la severidad de la lesión pulmonar aguda. Este dato es frecuentemente utilizado en la práctica y toma de decisiones sobre el paciente con falla respiratoria en la UCI donde se desarrolló la investigación. Diferentes investigaciones destacan la importancia de su medición y relación con otros parámetros para el seguimiento de la ventilación alveolar eficaz.

Frente a los parámetros de perfusión y metabolismo monitorizados a través de la VCap en esta unidad, se visualiza la poca utilización de estos parámetros, lo cual puede asociarse a dificultades para comprender la información fisiológica e interpretar los capnogramas, junto con la falta de integración de las formas de onda de CO₂ y los datos derivados con otras mediciones de procesos de metabolismo y perfusión [15].

En el estudio realizado por Velandia J. y Castro N. se determinó el comportamiento del intercambio gaseoso y de la mecánica pulmonar en pacientes ventilados con lesión pulmonar aguda/síndrome de distrés respiratorio agudo [SDRA], aplicando el modo APRV, y monitorizados a través de Vcap; la muestra correspondió a 32 pacientes, de los cuales el 59,4 %(n=19) fueron hombres y 40,6 %(n=13) mujeres, lo cual es comparable con las variables demográficas del presente estudio, donde 65 %(n=30) fueron hombres y 35 %(n=16) fueron mujeres, Frente al uso de parámetros de capnografía en el estudio mencionado usaron el volumen de ventilación alveolar como predictor de mejoría de intercambio gaseoso, convirtiéndose en el parámetro de elección para el seguimiento por programación, efectividad, seguridad y estabi-

lidad de la membrana alveolar durante la aplicación de este tipo de estrategia ventilatoria, lo cual es equiparable a lo que se evidencia el presente estudio dado que este parámetro más utilizado en esta unidad [16].

Kallet et al. midieron la relación del espacio muerto con volumen corriente exhalado en 685 sujetos con síndrome de dificultad respiratoria del adulto como parte del tratamiento clínico con ventilación con protección pulmonar. La VCap se usó para medir la relación del espacio muerto con volumen corriente exhalado en patologías, como la aspiración y la neumonía que tienen la relación del espacio muerto con volumen corriente exhalado significativamente mayor que la sepsis no pulmonar o trauma evidenciando la utilidad de la capnografía en patologías restrictivas lo cual es similar al presente estudio, donde se constató que los pacientes estudiados y monitorizados con VCap presentaron patología pulmonar de tipo restrictivo, destacándose enfermedades como síndrome de dificultad respiratoria del adulto, neumonía y trauma de tórax [17].

Goligher et al, sugirieron que la VCap podría emplearse para controlar los efectos de la PEEP en la función pulmonar y cardíaca. La pendiente de la fase III del capnograma refleja la extensión de la heterogeneidad en las tensiones de dióxido de carbono (CO₂) a través de las unidades pulmonares de constantes de tiempo variables. En consecuencia, cualquier patología pulmonar que aumenta la heterogeneidad de las constantes de tiempo y el CO₂ alveolar las tensiones aumentarán la pendiente de la fase III, lo cual es similar al presente estudio dado que los pacientes con patología respiratoria de tipo obstructivo reportan SLOPE de CO₂ en un rango menor que los restrictivos. Así mismo la gráfica evidencia un aumento en el valor de SLOPE CO₂ confirmando la heterogeneidad respecto a las patologías estudiadas [18-20]. En el estudio realizado por Romero et al, evidenció que la VCap específicamente, la relación entre el volumen minuto alveolar y el

volumen tidal permiten evaluar y monitorear las alteraciones ventilatorias en pacientes con síndrome de dificultad respiratoria en adultos, lo cual es comparable con los resultados del presente estudio donde esta relación es fundamental en la monitorización y ajuste del soporte ventilatorio en los pacientes con falla respiratoria [21].

Frente a la utilidad de la VCap en la titulación de PEEP se evidencia que en alteraciones de la relación espacio muerto/volumen corriente se incrementa en forma proporcional a la severidad de la patología [15]. El presente estudio evidencia seguimiento en el monitoreo de la capnografía para la titulación de PEEP y sus cambios durante la monitorización del reclutamiento alveolar y seguimiento de la lesión inducida por la ventilación mecánica, siendo otro de los usos de esta prueba en este tipo de pacientes en la UCI [22].

Estudios experimentales desarrollados por Tusman et al [23] han demostrado que el incremento de la relación espacio muerto alveolar/volumen alveolar efectivo es un indicador de sobredistensión alveolar, ocasionado por altas presiones en la vía aérea, otras de las variables que son afectadas con los cambios de presión es el volumen de CO₂ espirado por respiración, por lo que puede ser una herramienta útil para programar el PEEP. Maisch et al. en su estudio clínico demostraron utilidad en la evaluación de cambios en la perfusión y ventilación durante la titulación de PEEP de los pacientes con SDRA [24].

Si bien la VCap es pocas veces utilizada en las UCI; su desconocimiento sobre la compleja información que brinda esta herramienta es una de las principales razones de subutilidad; además, no todas las entidades hospitalarias cuentan con esta herramienta. De otra parte, no todos los dispositivos disponibles por el equipo médico brindan información que es posible obtener a partir de un registro gráfico integrado al volumen; la mayoría de los dispositivos se limitan a calcular el espacio muerto, cuando en

realidad es de conocimiento que es un índice de intercambio gaseoso relacionado al pronóstico del paciente; por otro lado, existen dispositivos que sólo calculan el espacio muerto utilizando exclusivamente al punto medio de la fase II del capnograma, por lo que únicamente brindan información sobre relación espacio muerto anatómico/volumen corriente. Lo anterior justifica porqué se debería abordar las especificaciones técnicas de los equipos disponibles con el objetivo de implementar esta estrategia de monitoreo en la práctica clínica habitual [25].

Teniendo en cuenta que la UCI adulto del Hospital Universitario San Rafael de Tunja es la única entidad hospitalaria regional, que cuenta con la tecnología adecuada para la medición de la capnografía volumétrica, es fundamental continuar realizando estudios investigativos que permitan medir la cinética de dióxido de

carbono desde los parámetros de producción metabólica (metabolismo), transporte circulatorio (perfusión) y eliminación de dióxido de carbono (ventilación) medidos mediante la Vcap. Así mismo, se recomienda continuar con estudios de revisión de la literatura que permitan evidenciar un componente teórico más fundamentado y de esta manera soportar la estructuración de protocolos en las entidades hospitalarias. Es necesario mencionar, como limitación del estudio, la imposibilidad de predecir si existe causalidad entre las variables, por lo que se recomienda la realización de estudios con análisis multivariados en muestras más amplias.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Literatura citada

1. Benítez A, Poblete B, Céspedes V, et al. **Capnografía Volumétrica y su aplicación en la monitorización de la Ventilación Mecánica.** *Revista Chilena de Medicina Intensiva.* 2019;34(3):1-10.
Disponible en: <https://www.medicina-intensiva.cl/revista/pdf/68/2.pdf>
2. Huhaman R. **Capnografía volumétrica: herramienta por excelencia para evaluar la ventilación alveolar en tiempo real.** *Actas Perú Anestesiología.* 2013;21(2):78-80
Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/actas_anestesiologia/v21n2/pdf/a06v21n2.pdf
3. Turchetto E, Makinistian R. **Monitoreo de la complejidad del paciente con SDRA. Primera parte: Capnografía Volumétrica.** *Facultad Ciencias Médicas. Universidad Nacional del Rosario.* República de Argentina. 2009:1-3.
Disponible en: <http://www clinica-unr.com.ar/2015-web/Especiales/40/Especiales%20-%20SDRA3%20-%20Capnografia.pdf>
4. Picazo L, Barrado M, Blanco H, et al. **La capnografía en los servicios de emergencia médica.** *Medicina de Familia. SEMERGEN.* 2009;35(3):138-143. Disponible en: [http://DOI:10.1016/S1138-3593\(09\)70721-X](http://DOI:10.1016/S1138-3593(09)70721-X)
5. Jaffe M. **Infrared measurement of carbon dioxide in the human breath: “breathe-through” devices from Tyndall to the present day.** *Anesth Analg.* 2008;107(3):890-904. Available from:
<http://doi:10.1213/ane.0b013e31817ee3b3>
6. Jaffe M, Orr J. **Continuous monitoring of respiratory flow and CO (2): challenges of on-airway measurements.** *IEEE Eng Med Biol Mag.* 2010;29(2):44-52. Available from: <http://doi:10.1109/MEMB.2009.935712>
7. Walsh B, Crotwell D, Restrepo R. **Capnography/Capnometry during mechanical ventilation.** *Respir Care.* 2011;56(4):503-509. Available from: <http://doi:10.4187/respcare.01175>
8. Gracia M. **Adecuación del nivel de presión positiva al final de la espiración tras maniobra de reclutamiento en síndrome de dificultad respiratoria del adulto mediante capnografía volumétrica: estudio experimental en modelo animal.** [Tesis Doctoral de Medicina en Internet]. [España]: Universidad Autónoma de Madrid, 2017. Disponible en: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/680532/gracia_martinez_jose_luis.pdf?sequence=1.
9. Resolución Número 008430 de 1993. **Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud.** *Ministerio de Salud-Colombia.* Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>

10. Breen P, Isserles S, Harrison B, Roizen M. **Simple computer measurement of pulmonary VCO₂ per breath.** *J Appl Physiol.* 1992;72(5):2029-2035. Available from: <http://doi:10.1152/jappl.1992.72.5.2029>
11. Suárez S, Böhm S, Tusman G. **Capnografía volumétrica: ha llegado el momento.** *Curr Opin Crit Care.* 2014; 20 (3): 333 – 339. Disponible en: <http://doi:10.1097/MCC.0000000000000095>
12. Veronez L, Pereira M, da Silva S, et al. **Capnografía volumétrica para la evaluación de enfermedades crónicas de las vías aéreas.** *Int J Chron Obstruct Pulmón Dis.* 2014; 9:983-989. Disponible en: <http://doi:10.2147/COPD.S62886>
13. Gravenstein J, Jaffe M, Gravenstein N, Paulus D. **Capnography.** Cambridge university press UK. Second edition. 2012,116:744-745. Available from: <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e3182423593>
14. Kremeier P, Böhm S, Tusman G. **Clinical use of volumetric capnography in mechanically ventilated patients.** *J Clin Monit Comput.* 2020;34(1):7-16. Available from: <https://doi:10.1007/s10877-019-00325-9>
15. Böhm S, Kremeier P, Tusman G, Reuter D, Pulletz S. Grundlagen der Volumetrischen Kapnographie: Prinzipien der Überwachung von Stoffwechsel und Hämodynamik [Foundations of Volumetric capnography: Principles of monitoring of metabolism and hemodynamics]. *Anaesthetist.* 2020;69(4):287-296. Available from: <https://doi:10.1007/s00101-020-00744-3>
16. Velandia J, Castro N. **Ventilación con liberación de presión en la vía aérea: una medida de reclutamiento continuo evaluada a través del intercambio gaseoso y la mecánica pulmonar en pacientes adultos.** *Ciencia & Salud.* 2013; 3(9):45-50. Disponible en: <https://repository.usc.edu.co/bitstream/20.500.12421/858/1/Ventilaci%C3%B3n%20con%20liberaci%C3%B3n%20de%20presi%C3%B3n%20en%20la%20v%C3%ADa%20a%C3%A9rea%20una%20medida%20de%20reclutamiento%20continuo%20evaluada.pdf>
17. Kallet R, Zhuo H, Ho K, Lipnick M, Gómez A, Matthay M. **Etiología de la lesión pulmonar y otros factores que influyen en la relación entre la fracción del espacio muerto y la mortalidad en el SDRA.** *Atención respiratoria.* 2017, 62 (10) 1241-1248. Disponible en: <https://doi.org/10.4187/respca.05589>
18. Ewan C, Goligher, Fan E, Slutsky A. **Year in review 2012. Critical Care - respirology.** 2013, 17:249. Available from: <http://ccforum.com/content/17/6/249>
19. Tusman G, Scandurra A, Böhm S, Suarez S, Clara F. **Model fitting of volumetric capnograms improves calculations of airway dead space and slope of phase III.** *J Clin Monit Comput.* 2009;23(4):197-206. Available from: <https://doi:10.1007/s10877-009-9182-z>
20. Kallet R, Daniel B, Garcia O, Matthay M. **Accuracy of physiologic dead space measurements in patients with ARDS using volumetric capnography: comparison with the metabolic monitor method.** *Respir Care.* 2005; 50:462–467. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15807908/>
21. Romero P, Lucangelo U, López A, Fernández R, Blanch L. **Índices fisiológicos de capnografía volumétrica en pacientes que reciben ventilación mecánica.** *Eur Respir J.* 1997; 10: 1309–1315. Disponible en: <http://doi:10.1183/09031936.97.10061309>
22. Lachmann B: **Open up the lung and keep the lung open.** *Intensive Care Med.* 1992; 18(6):319–332. Available from: <https://core.ac.uk/download/pdf/43303439.pdf>
23. Tusman G, Suarez S, Böhm S, Pech T, et al. **Monitoring dead space during recruitment and PEEP titration in an experimental model.** *Intensive Care Med.* 2006;32(11):1863–1871. Available from: <http://doi:10.1007/s00134-006-0371-7>
24. Maisch S, Reismann H, Fuellekrug B, et al. **Compliance and dead-space fraction indicate an optimal level of positive end-expiratory pressure after recruitment in anesthetized patients.** *Anesth Analg.* 2008;106(1):175-181. Available from: <http://doi:10.1213/ANE.00000287684.74505.49>
25. Benites A, Poblete B, Céspedes V, et al. **Capnografía volumétrica y su aplicación en la monitorización de la ventilación mecánica.** *Revista Chilena de Medicina Intensiva.* 2019;34(3):1-10. Disponible en: <https://www.medicina-intensiva.cl/revista/pdf/68/2.pdf>

