

## Niveles basales de PetCO<sub>2</sub> en pacientes quirúrgicos

### Baseline PetCO<sub>2</sub> Levels in Surgical Patients

Francisco Antonio Cevallos Sacoto Correo<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7416-1956>

<sup>1</sup>Universidad de Cuenca. Hospital “Vicente Corral Moscoso”. Azuay, Ecuador.

\* Autor para la correspondencia: [md.fransiscevallos@gmail.com](mailto:md.fransiscevallos@gmail.com)

#### RESUMEN

**Introducción:** Los parámetros capnográficos de referencia se fundamentan en investigaciones realizadas acerca de entornos próximos al nivel del mar, lo que requiere su validación y normalización en escenarios de elevada altitud.

**Objetivo:** Determinar los niveles basales de PetCO<sub>2</sub> en los pacientes quirúrgicos atendidos en el Hospital “Vicente Corral Moscoso”, localizada a 2 560 metros sobre el nivel del mar.

**Métodos:** Se realizó un estudio observacional, descriptivo, transversal en el Servicio de Anestesiología y Reanimación en el Hospital “Vicente Corral Moscoso” en el período comprendido de enero de 2019 a marzo de 2020. Se estudió una población de 534 pacientes incluidos en la muestra.

**Resultados:** Los niveles basales de PetCO<sub>2</sub> predominaron en el rango entre 28-31 mmHg, con una media aproximadamente de 28 mmHg. La mitad de los pacientes tuvieron niveles estimados de P<sub>A</sub>O<sub>2</sub> entre 65-69 mmHg con una media global de aproximadamente 68 mmHg. La aplicación del *test* de Kruskal-Wallis evidenció una influencia estadísticamente significativa del tipo de cirugía, la tensión arterial media y la frecuencia respiratoria durante la toma de la capnografía sobre los niveles basales de PetCO<sub>2</sub>.

**Conclusiones:** Los niveles basales de PetCO<sub>2</sub> en pacientes quirúrgicos de la ciudad de Cuenca, tuvieron una media de aproximadamente 28 mmHg; se evidenció una influencia estadísticamente significativa de la cirugía de urgencia, tensión arterial media y frecuencia respiratoria sobre sus valores.

**Palabras clave:** capnografía; altitud; anestesia; cirugía; niveles basales de PetCO<sub>2</sub>.

#### ABSTRACT

**Introduction:** Baseline capnographic parameters are founded upon research about environments close to the sea level, which requires their validation and standardization in high-altitude scenarios.

**Objective:** To determine baseline partial end-tidal (Pet) CO<sub>2</sub> levels in surgical patients attended at Hospital Vicente Corral Moscoso, located at 2,560 meters above sea level.

**Methods:** An observational, descriptive and cross-sectional study was conducted in the anesthesiology and resuscitation service at Hospital Vicente Corral Moscoso, in the period from January 2019 to March 2020. A population of 534 patients included in the sample was studied.

**Results:** Baseline PetCO<sub>2</sub> levels were predominantly in the range between 28-31 mmHg, with a mean of approximately 28 mmHg. Half of the patients had estimated partial pressure (P<sub>A</sub>) O<sub>2</sub> levels between 65-69 mmHg, with an overall mean of approximately 68 mmHg. The application of the Kruskal-Wallis test evidenced a statistically significant influence of the type of surgery, mean arterial blood pressure and respiratory rate during capnography measurement over baseline PetCO<sub>2</sub> levels.

**Conclusions:** Baseline PetCO<sub>2</sub> levels in surgical patients in the city of Cuenca had a mean of approximately 28 mmHg; such values were evidenced to receive the influence, with a statistical significance, of emergency surgery, mean arterial blood pressure and respiratory frequency.

**Keywords:** capnography; altitude; anesthesia; surgery; baseline PetCO<sub>2</sub> levels.

Recibido: 20/06/2023

Aceptado: 23/07/2023

## Introducción

La capnografía constituye el estándar para la verificación de la correcta colocación de dispositivos supra e infragloticos y la adecuación de la ventilación mecánica en pacientes que reciben anestesia general o sedación procedimental,<sup>(1,2,3)</sup> proporciona una alerta temprana de depresión respiratoria posoperatoria preferente, respecto a la desaturación de oxígeno,<sup>(4)</sup> posibilita la estimación fiable de la reactividad vascular encefálica durante las intervenciones neuroquirúrgicas,<sup>(5)</sup> del estado hemodinámico de los pacientes críticos<sup>(6)</sup> y del retorno de la circulación espontánea durante la reanimación cardiopulmonar;<sup>(7)</sup> y tiene un valor predictivo sobre la incidencia de complicaciones perioperatorias.<sup>(8,9,10)</sup>

Los parámetros capnográficos de referencia se fundamentan en investigaciones desarrolladas en entornos próximos al nivel del mar. Sin embargo, se estima que alrededor de 139 millones de personas viven en regiones de altitud elevada [altura superior a los 2 500 metros sobre el nivel del mar (m.s.m.)]<sup>(11)</sup>

La monitorización de la presión parcial teleespiratoria de dióxido de carbono (*Partial Pressure end-tidal* CO<sub>2</sub>, PetCO<sub>2</sub>) y en consecuencia, la inferencia de la presión parcial arterial de dióxido de carbono (P<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>) permite adecuar la ventilación artificial para mantener los niveles séricos de CO<sub>2</sub> en rangos aceptables, pues estos regulan estrechamente el flujo sanguíneo cerebral, que participan de forma activa en diversos aspectos de la fisiología encefálica como la hemodinamia, oxigenación y metabolismo.<sup>(12)</sup>

Estos aspectos de la fisiología encefálica originan cambios fisiológicos sistémicos notables a nivel pulmonar,<sup>(13)</sup> cardiovascular,<sup>(14)</sup> renal<sup>(15)</sup> y gastrointestinal,<sup>(16)</sup> lo que requiere su validación y normalización en escenarios de altitud elevada.

La investigación tuvo el objetivo de determinar los niveles basales de PetCO<sub>2</sub> en los pacientes quirúrgicos atendidos en el Hospital “Vicente Corral Moscoso” de la ciudad de Cuenca, Ecuador, localizada a 2560 m.s.m (P<sub>atm</sub> 560 mmHg).

## Métodos

Se realizó un estudio observacional, descriptivo, transversal en el Servicio de Anestesiología y Reanimación del hospital en estudio en el período comprendido de enero de 2019 a marzo de 2020.

La población estuvo constituida por los pacientes intervenidos quirúrgicamente en el período establecido. En cuanto a los criterios de inclusión se incluyeron los pacientes con edades comprendidas entre los 20 y 40 años con estado físico grado I y II según la clasificación de la *American Society of Anesthesiologists* (ASA),<sup>(17)</sup> y se excluyeron los pacientes con alteraciones mayores del gradiente alvéolo-arterial de CO<sub>2</sub> (obesidad mórbida, enfermedad respiratoria aguda o crónica, cardiopatías) (n. 6 950).

Se realizó un muestreo probabilístico mediante la fórmula:  $n = Z^2 \sigma^2 N / e^2 (N-1) + Z^2 \sigma^2$ ; para una desviación en relación a la curva de distribución normal de 1,96 que corresponde a un intervalo de confianza del 95 %, error muestral de 0,6, margen de error de 0,5, más un 10 % no probabilístico por posibles pérdidas (n. 534).

Se estudiaron las variables: edad, sexo, estado físico según la ASA, índice de masa corporal (IMC), temperatura, frecuencia cardíaca, tensión arterial media, tipo de cirugía, nivel basal de PetCO<sub>2</sub>, frecuencia respiratoria y saturación de oxígeno capilar periférica (SpO<sub>2</sub>).

En cuanto a los procedimientos se utilizó la diferencia de oximetría en brazos y piernas para el cribado extra de los pacientes, con descartes para una diferencia del 5 %. La presión atmosférica del quirófano se determinó con un barómetro HTI-9800<sup>®</sup> (HTI Instruments, China) y la presión de vapor de agua (P<sub>H<sub>2</sub>O</sub>) de la pieza en Y del circuito anestésico con un higrómetro *Topker* HT-350<sup>®</sup> (HTI Instruments, China), datos empleados para estimar la presión alveolar de O<sub>2</sub> (P<sub>A</sub>O<sub>2</sub>).

Se realizó la monitorización multiparamétrica continua con monitor *Dräger Infinity*<sup>®</sup> Vista (Drägerwerk AG & Co, Lubeck, Alemania); se realizó el cambio de la cal sodada en cada paciente; se procedió a sellar adecuadamente la vía aérea con máscara facial acorde al rostro del paciente y se conectó a un circuito circular, donde se administró un flujo de gas fresco de 4L/min de aire comprimido (FiO<sub>2</sub> 21 %), conectando en la pieza en Y un capnógrafo de flujo lateral *Dräger Vamos*<sup>®</sup> Plus (Drägerwerk AG & Co., Lubeck, Alemania), con un grado de precisión de  $\pm 3,3$  mmHg según la norma ISO 21647, calibrado mediante trampa de agua y línea de muestreo nueva en todos los casos. Después de comprobar que el CO<sub>2</sub> inspirado fuera de 0 mmHg, se procedió a tomar 5 muestras en 2 min, a intervalos de 30 seg, y se promediaron para obtener el valor final de cada paciente.

La información se tomó de las fuentes de datos/medidas: historia clínica anestésica y formulario y para la recolección de la información se empleó un formulario creado *ad hoc*, manipulado por el mismo investigador.

En cuanto a los métodos estadísticos los datos fueron analizados con el software IBM *Statistical Package Social Science* (Spss<sup>®</sup>) 22.0 y Microsoft Excel<sup>®</sup> 2013. Se emplearon estadísticos descriptivos e inferenciales para comparar las diferencias entre variables. Se emplearon las pruebas no paramétricas de Kolmogorov-Smirnov y Kruskal-Wallis, para examinar los cambios de cada parámetro dentro de los subgrupos, se aceptó un grado de significación estadística para un valor de  $p < 0,05$ .

### Aspectos éticos

Todos los procedimientos realizados en los pacientes siguieron los principios fundacionales de la Declaración de Helsinki<sup>(18)</sup> refrendados en la versión de 2013. Se garantizó la privacidad de cada paciente involucrado, por lo que no se utilizó dato alguno con el cual pudieran ser identificados, y se realizó un adecuado proceso de consentimiento informado. La investigación fue aprobada por el Consejo Científico y el Comité de Ética de la Investigación Científica del hospital sede.

### Resultados

De los 534 pacientes incluidos en la muestra, el promedio de edad estuvo alrededor de los 28 años, con predominio de pacientes aparentemente sanos, normopesos e intervenidos de urgencia (tabla 1).

**Tabla 1-** Distribución de pacientes según características demográficas y clínicas

Variables	n	%	Media ± DE	IC 95 %
Grupos de edad				
20-24	141	26,4	28,81 ± 5,65	28,56-29,05
25-29	160	30		
30-34	131	24,5		
35-39	93	17,4		
40	9	1,7		
Sexo				
Masculino	285	53,4		
Femenino	249	46,6		
Estado físico según la ASA				
ASA I	471	88,2		
ASA II	63	11,8		
Índice de masa corporal (Kg/m <sup>2</sup> )				
18,5-19	24	4,5	22,44 ± 1,34	2,38-22,50
20-21	159	29,8		
22-23	287	53,7		
≥ 24	64	12		

Tipo de cirugía				
Electiva	166	31,1		
Urgencia	368	68,9		

Cuenca, 2019-2020.

Fuente: Modelo de recolección de datos.

Predominaron los niveles basales de PetCO<sub>2</sub> en el rango entre 28-31 mmHg, con una media de aproximadamente 28 mmHg. El *test* de Kolmogorov-Smirnov determinó un valor de  $p < 0,001$  con una asimetría de 0,63 (simétrico) y una curtosis de 1,54 (leptocúrtica). Alrededor de la mitad de los pacientes tuvieron niveles estimados de P<sub>A</sub>O<sub>2</sub> entre 65-69 mmHg con una media global de aproximadamente 68 mmHg (tabla 2).

**Tabla 2-** Distribución de pacientes según niveles basales de PetCO<sub>2</sub> y estimación de la presión alveolar de oxígeno (P<sub>A</sub>O<sub>2</sub>)

Variable	n	%	Media ± DE	IC 95 %
PetCO <sub>2</sub> (mmHg)				
< 25	25	4,7	28,36 ± 1,81	28,27-28,43
25-27	160	30		
28-31	321	60,1		
≥ 32	28	5,2		
P <sub>A</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)				
60-64	121	22,7	68,12 ± 3,89	64,22-72,01
65-69	251	47		
70-74	137	25,7		
≥ 75	25	4,7		

Cuenca, 2019-2020.

Fuente: Modelo de recolección de datos.

Aunque las medias de la frecuencia respiratoria fueron similares, se constató un mayor número de pacientes polipneicos en la medición previa a la capnografía (27,3 % frente a 14,6 %). Predominaron los niveles basales de SpO<sub>2</sub> inferiores o iguales al 95% en casi las tres cuartas partes de la muestra (72,3 %) (tabla 3).

**Tabla 3-** Distribución de pacientes según parámetros vitales

Variables	n	%	Media ± DE	IC 95 %
Frecuencia cardíaca (latidos/min)			77,10 ± 10,57	76,64-77,55
60-69	149	27,9		
70-79	185	34,6		
80-89	114	21,3		
≥ 90	86	16,1		
Temperatura (°C)			36,40 ± 0,41	36,38-36,41
36-36,5	406	76,03		
36,6-37,2	128	23,97		
Frecuencia respiratoria previa a la capnografía (resp/min)			15,39 ± 2,67	15,27-15,50
10-11	19	3,6		
12-13	140	36,2		
14-15	114	21,3		
16-17	115	21,5		
≥ 18	146	27,3		
Frecuencia respiratoria durante la capnografía (resp/min)			15,16 ± 2,00	15,07-15,24
10-11	8	1,5		
12-13	87	16,3		
14-15	214	40,1		
16-17	147	27,5		
≥ 18	78	14,6		
Tensión arterial media (mmHg)			87,09 ± 7,20	86,78-87,40
< 70	5	0,9		
70-79	76	14,2		
80-89	234	43,8		

90-99	218	40,8		
≥ 100	1	0,2		
SpO <sub>2</sub> (%)			94,64 ± 1,55	94,55-94,72
92-93	137	25,7		
94-95	249	46,6		
≥ 96	148	27,7		

Cuenca, 2019-2020.

Fuente: Modelo de recolección de datos.

La aplicación del *test* de Kruskal-Wallis solo evidenció una influencia estadísticamente significativa del tipo de cirugía sobre los niveles basales de PetCO<sub>2</sub>.

**Tabla 4-** Distribución de pacientes según niveles basales de PetCO<sub>2</sub> y características demográficas y clínicas

Variable	Niveles basales de PetCO <sub>2</sub>			p valor
	Media	DE	IC 95 %	
Grupos de edad				0,683
20-24	28,54	1,56	28,41-28,67	
25-29	28,28	1,95	28,13-28,44	
30-34	28,16	1,85	28,00-28,32	
35-39	28,46	1,89	28,27-28,66	
40	28,26	0,52	28,09-28,44	
Total	28,35	1,80	28,27-28,43	
Sexo				0,693
Masculino	28,32	1,82	28,21-28,43	
Femenino	28,39	1,78	28,27-28,50	
Total	28,35	1,80	28,27-28,43	
Estado físico según la ASA				0,172
ASA I	28,33	1,77	28,24-28,41	
ASA II	28,54	2,01	28,28-28,79	

Total	28,35	1,80	28,27-28,43	
Índice de masa corporal (Kg/m <sup>2</sup> )				
18,5-19	28,51	1,57	28,19-28,83	0,597
20-21	28,40	1,63	28,27-28,53	
22-23	28,33	1,82	28,22-28,44	
≥ 24	28,28	2,20	28,00-28,55	
Total	28,35	1,80	28,27-28,43	
Tipo de cirugía				
Electiva	28,64	1,99	28,48-28,79	0,005
Urgencia	28,22	1,70	28,13-28,31	
Total	28,35	1,80	28,27-28,43	

Cuenca, 2019-2020.

Fuente: Modelo de recolección de datos

La aplicación del *test* de Kruskal-Wallis evidenció una influencia estadísticamente significativa de la tensión arterial media y la frecuencia respiratoria durante la toma de la capnografía sobre los niveles basales de PetCO<sub>2</sub> (tabla 5).

**Tabla 5-** Distribución de pacientes según niveles basales de PetCO<sub>2</sub> y parámetros vitales

Variables	Niveles basales de PetCO <sub>2</sub>			p valor
	Media	DE	IC 95 %	
Temperatura (°C)				
36-36,5	28,39	1,98	1,75-1,95	
36,6-37,2	28,26	1,10	1,59-1,85	0,411
Total	28,36	1,81	1,73-1,88	
Frecuencia cardíaca (latidos/min)				
60-69	28,40	1,97	28,24-28,57	
70-79	28,45	1,75	28,32-28,58	
80-89	28,17	1,68	28,01-28,33	0,531
≥ 90	28,29	1,76	28,10-28,48	



Total	29,35	1,80	28,27-28,43	
Tensión arterial media (mmHg)				
< 70	26,97	2,25	26,17-27,77	
70-79	28,94	3,25	28,15-29,73	
80-89	28,20	1,86	28,05-28,34	0,030
90-99	28,62	1,80	28,48-28,76	
≥ 100	28,35	1,48	28,23-28,47	
Total	27,39	1,07	27,14-27,63	
Frecuencia respiratoria durante la capnografía (resp/min)				
10-11	29,20	3,42	27,99-30,40	
12-13	27,04	2,01	26,82-27,25	
14-15	28,95	1,61	28,84-29,06	
16-17	27,95	1,59	27,82-28,08	< 0,001
≥ 18	28,84	1,18	28,71-28,98	
Total	28,35	1,80	28,27-28,43	
SpO <sub>2</sub> (%)				
92-93	28,31	1,96	28,14-28,48	
94-95	28,34	1,72	28,23-28,45	
≥ 96	28,40	1,79	28,26-28,55	0,825
Total	28,35	1,80	28,27-28,43	

Cuenca, 2019-2020.

Fuente: Modelo de recolección de datos.

## Discusión

Con el aumento de la altitud se reduce progresivamente la presión parcial arterial de oxígeno (P<sub>a</sub>O<sub>2</sub>), lo cual estimula los quimiorreceptores periféricos y produce una respuesta hiperventilatoria compensatoria a la hipoxia hipobárica crónica con el descenso concomitante de los niveles basales de P<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>.<sup>(19,20)</sup> Las modificaciones epigenética de la vía del factor de hipoxia (metilación del ADN, modificación de la cola de las histonas y regulación del ARN) mantienen la respuesta sistémica adaptativa a largo plazo, pues regulan

el sistema renina-angiotensina, procesos glicolíticos, diferenciación de células madres pluripotenciales, angiogénesis e inflamación.<sup>(21,22)</sup>

Se han publicado varias investigaciones donde se evidencia la influencia de la altitud sobre los parámetros ventilatorios basales. *Beall* y otros<sup>(23)</sup> compararon dos grupos de voluntarios sanos nativos de las localidades rurales del Tíbet (Pen-Dri, 3800-4065 m.s.m.;  $P_{atm}$  media 479 mmHg; n: 320) y Bolivia (La Paz, 3900-4000 m.s.m.;  $P_{atm}$  media 478 mmHg; n: 542), con edades comprendidas entre los 9-94 años; los tibetanos tuvieron una respuesta ventilatoria en reposo e hipóxica con un volumen tidal 1,4-1,7 y 2 veces superior respectivamente en relación a los andinos, así como cifras de  $P_{etCO_2}$  en reposo ( $29,5 \pm 5,1$  mmHg frente a  $33,9 \pm 3,7$  mmHg) y de  $SpO_2$  ( $89,3 \pm 2,9$  mmHg frente a  $92,4 \pm 2,5$  mmHg) inferiores.

*García* y otros<sup>(24)</sup> realizaron la estimación de la  $P_{aO_2}$ ,  $P_{aCO_2}$  y  $P_{AO_2}$  en las ciudades principales de México, donde las medias para los sujetos aclimatados varían según la altitud, por ejemplo, las ciudades de México (2238 m.s.m.;  $P_{aO_2}$ : 65,9 mmHg;  $P_{aCO_2}$ : 32,7 mmHg;  $P_{AO_2}$ : 71,9 mmHg) y Poblado de Raíces (3500 m.s.m.;  $P_{aO_2}$ : 52,9 mmHg;  $P_{aCO_2}$ : 29,6 mmHg;  $P_{AO_2}$ : 58,9 mmHg).

Otras investigaciones han mostrado tendencias análogas en ciudades o regiones de diversas latitudes como Leh (India, 3300 m.s.m.;  $P_{etCO_2}$ :  $33,8 \pm 3,3$  mmHg;  $SpO_2$ :  $90,9 \pm 2,4$  %),<sup>(25)</sup> Cusco (Perú, 3350 m.s.m.;  $P_{aO_2}$ : 61,08 mmHg;  $P_{aCO_2}$ : 30,62 mmHg;  $P_{AO_2}$ : 62,52 mmHg;  $SpO_2$ : 91 %),<sup>(26)</sup> Pheriche (Nepal, 4240 m.s.m.;  $P_{etCO_2}$ :  $22,1 \pm 2,9$  mmHg;  $SpO_2$ :  $89,8 \pm 2,4$  %),<sup>(21)</sup> Valle de Khumbu (Nepal, 5050 m.s.m.;  $P_{etCO_2}$ :  $33 \pm 3$  mmHg;  $SpO_2$ :  $80 \pm 5$  %),<sup>(27)</sup> Monte Everest (China-Nepal, 8400 m.s.m.;  $P_{aCO_2}$ : 24,6 mmHg;  $P_{aO_2}$ : 13,3 mmHg)<sup>(28)</sup> y Thami-Kunde (Nepal, 3800 m.s.m.;  $P_{etCO_2}$ :  $24 \pm 3$  mmHg;  $SpO_2$ :  $95 \pm 2$  %),<sup>(29)</sup> este último realizado en pacientes pediátricos.

Existen varios factores que se relacionan significativamente con los niveles basales de  $P_{etCO_2}$  en las altitudes elevadas, como la edad que produce una tendencia creciente progresiva en sus valores,<sup>(23,26)</sup> la posición con aumento en el decúbito respecto a la sedestación,<sup>(30)</sup> la tensión arterial, pues la hipoxia hipobárica crónica incrementa la susceptibilidad de los quimiorreceptores al  $CO_2$  y atenúa la sensibilidad barorrefleja,<sup>(31)</sup> y el volumen del espacio muerto fisiológico.<sup>(32)</sup>

La altura influye de forma notable en todas las variables que integran la ecuación del gas alveolar [ $P_{AO_2} = P_{IO_2} - P_{aCO_2} \times (1/R)$ ; R, cociente respiratorio].<sup>(33,34)</sup> Consecuentemente, la altitud es inversamente proporcional a la  $P_{AO_2}$ .

Entre las variables que integran el cálculo del *shunt* o mezcla venosa pulmonar, se incluye el contenido de  $O_2$  en sangre capilar que se computa a partir la  $P_{AO_2}$  de la ecuación del gas alveolar;<sup>(33,35)</sup> por lo que en el diseño del estudio se incorporó la estimación de la  $P_{AO_2}$  para valorar la presencia de espacio muerto patológico que pudiera sesgar la medición de la  $P_{etCO_2}$  basal.

Como limitaciones potenciales de la investigación se pueden referir la muestra elevada de pacientes que requerían cirugía de urgencias, pues dicha población experimenta alteraciones ventilatorias y hemodinámicas que modifican los niveles de  $P_{etCO_2}$ ,<sup>(38,39,40,41,42)</sup> la baja sensibilidad de la  $P_{etCO_2}$  en detectar cambios ventilatorios en pacientes no intubados,<sup>(43,44)</sup> y el empleo de capnografía de flujo lateral, aunque fidedigna en la medición de la  $P_{etCO_2}$ ,

menos fiable para evaluar parámetros volumétricos como la pendiente de fase II y el volumen del espacio muerto.<sup>(45)</sup>

Se concluye que los niveles basales de PetCO<sub>2</sub> en pacientes quirúrgicos de la ciudad de Cuenca, Ecuador (Altitud: 2560 m.s.m.; P<sub>atm</sub> 560 mmHg) tuvieron una media de aproximadamente 28 mmHg; se evidenció una influencia estadísticamente significativa de la cirugía de urgencia, tensión arterial media y frecuencia respiratoria sobre sus valores.

## Referencias bibliográficas

1. Klein AA, Meek T, Allcock E, Cook TM, Mincher N, Morris C, *et al.* Recommendations for standards of monitoring during anaesthesia and recovery 2021. Guideline from the Association of Anaesthetists. *Anaesthesia*. 2021;76(9):1212-23. DOI: <https://doi.org/10.1111/anae.15501>.
2. ASA House of Delegates. Standards for Basic Anesthetic Monitoring. American Society of Anesthesiologists. 2020 [acceso 23/01/2023]. Disponible en: <https://www.asahq.org/standards-and-guidelines/standards-for-basic-anesthetic-monitoring>.
3. Gelb AW, Morriss WW, Johnson W, Merry AF. World Health Organization-World Federation of Societies of Anaesthesiologists (WHO-WFSA) International Standards for a Safe Practice of Anesthesia. *Can J Anesth*. 2018;65:698-708. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12630-018-1111-5>.
4. Lam T, Nagappa M, Wong J, Singh M, Wong D, Chung F. Continuous Pulse Oximetry and Capnography Monitoring for Postoperative Respiratory Depression and Adverse Events: A Systematic Review and Meta-analysis. *Anesth Analg*. 2017;125(6):2019-29. DOI: <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002557>.
5. Akkermans A, Waes JAV, Peelen LM, Rinkel GJ, Klei WAv. Blood Pressure and End-tidal Carbon Dioxide Ranges during Aneurysm Occlusion and Neurologic Outcome after an Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. *Anesthesiology*. 2019;130(1):92-105. DOI: <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002482>.
6. Øberg EB, Jørgensen BG, Berthelsen PG. End-tidal CO<sub>2</sub> in the diagnosis of fluid responsiveness - a systematic review. *Dan Med J*. 2019 [acceso 01/01/2023];66(9):A5560. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31495370/>
7. Gutiérrez JJ, Leturiondo M, Gaunal SRd, Ruiz JM, Azcarate I, González-Otero DM, *et al.* Assessment of the evolution of end-tidal carbon dioxide within chest compression pauses to detect restoration of spontaneous circulation. *PLoS ONE*. 2021;16(5):e0251511. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251511>.
8. Davis R, Jewell E, Engoren M, Maile M. Difference between arterial and end-tidal carbon dioxide and adverse events after non-cardiac surgery: a historical cohort study. *Can J Anesth*. 2021 (in Press). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12630-021-02118-8>.
9. Mutch WAC, El-Gabalawy R, Girling L, Kilborn K, Jacobsohn E. End-Tidal Hypocapnia Under Anesthesia Predicts Postoperative Delirium. *Front Neurol*. 2018;9:678. DOI: <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00678>.

10. Dony P, Dramaix M, Boogaerts JG. Hypocapnia measured by end-tidal carbon dioxide tension during anesthesia is associated with increased 30-day mortality rate. *J Clin Anesth.* 2017;36:123-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclinane.2016.10.028>.
11. Moore LG, Niermeyer S, Zamudio S. Human adaptation to high altitude: regional and life-cycle perspectives. *Am J Phys Anthropol.* 1998;27:25-64. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-8644\(1998\)107:27p<25::aid-ajpa3>3.0.co;2-1](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-8644(1998)107:27p<25::aid-ajpa3>3.0.co;2-1).
12. Godoy DA, Rovegno M, Lazaridis C, Badenes R. The effects of arterial CO<sub>2</sub> on the injured brain: Two faces of the same coin. *J Crit Care.* 2021;61:207-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2020.10.028>.
13. Mrozek S, Constantin JM, Geeraerts T. Brain-lung crosstalk: implications for neurocritical care patients. *World J Crit Care Med.* 2015;4:163-78. DOI: <https://doi.org/10.5492/wjccm.v4.i3.163>.
14. McKenzie N, Williams TA, Tohira H, Ho KM, Finn J. A systematic review and meta-analysis of the association between arterial carbon dioxide tension and outcomes after cardiac arrest. *Resuscitation.* 2017;111:116-26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.09.019>.
15. Rodríguez AM, Delgado DV, Arias AV, Chacón CR, Belmonte AA. Capnometry levels as an indicator of renal graft evolution in uncontrolled non-heart beating donors. *Med Intensiva.* 2020;44(4):233-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.medin.2018.10.008>.
16. Uzunosmanoğlu H, Emektar E, Dağar S, Çorbacıoğlu ŞK, Çevik Y. Predictive value of capnography for severity of acute gastroenteritis in the emergency department. *Am J Emerg Med.* 2020;38(6):1159-62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2019.158404>.
17. Doyle DJ, Hendrix JM, Garmon EH. American Society of Anesthesiologists Classification. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2023 [acceso 23/01/2023] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441940/>
18. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical Research Involving Human Subjects. *JAMA.* 2013;310(20):1-95. DOI: <http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jama.2013.281053>
19. Mikołajczak K, Czerwinska K, Pilecki W, Poreba R, Gac P, Poreba M. The Impact of Temporary Stay at High Altitude on the Circulatory System. *J Clin Med.* 2021;10:1622. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm10081622>.
20. Wani Z, Sharma M. High Altitude and Anesthesia. *J Card Crit Care TSS.* 2017;1(1):30-3. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0037-1604203>.
21. Childebayeva A, Harman T, Weinstein J, Day T, Brutsaert TD, Bigham AW. Genome-Wide DNA Methylation Changes Associated With High-Altitude Acclimatization During an Everest Base Camp Trek. *Front Physiol.* 2021;12. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.660906>.
22. Childebayeva A, Goodrich JM, Leon-Velarde F, Rivera-Chira M, Kiyamu M, Brutsaert TD, *et al.* Genome-wide epigenetic signatures of adaptive developmental plasticity in the andes. *Genome Biol Evol.* 2020;13(2):evaa239. DOI: <https://doi.org/10.1093/gbe/evaa239>.
23. Beall CM, Strohl KP, Blangero J, Williams-Blangero S, Almasy LA, Decker MJ, *et al.* Ventilation and Hypoxic Ventilatory Response of Tibetan and Aymara High Altitude

- Natives. *Am J Phys Anthropol.* 1997;104(4):427-47. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(199712\)104:4<427::AID-AJPA1>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(199712)104:4<427::AID-AJPA1>3.0.CO;2-P)
24. García JCV, Padilla RP. Valores gasométricos estimados para las principales poblaciones y sitios a mayor altitud en México. *Rev Inst Nal Enf Resp Mex.* 2000 [acceso 23/07 2023];13(1):6-13. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=5957#>
25. Dua S, Singh SP, Chawla A, Mohan L, Bhattacharya A, Basannar DR. Ventilatory parameters at rest after months of stay at 3300 m: A comparison between acclimatized lowlanders and natives at Leh. *Med J Armed Forces India.* 2019;75(3):274-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2018.03.008>.
26. Pereira-Victorio CJ, Huamanquispe-Quintana J, Castelo-Tamayo LE. Gasometría arterial en adultos clínicamente sanos a 3350 metros de altitud. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica.* 2014 [acceso 23/01/2023];31(3):473-9. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1726-46342014000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1726-46342014000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
27. Smirl JD, Lucas SJE, Lewis NCS, Manior GRd, Smith KJ, Bakker A, *et al.* Cerebral pressure-flow relationship in lowlanders and natives at high altitude. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2014;34:248-57. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/jcbfm.2013.178>
28. Grocott MP, Martin DS, Levett DZ, McMorrow R, Windsor J, Montgomery HE. Caudwell Xtreme Everest Research Group: Arterial blood gases and oxygen content in climbers on Mount Everest. *N Eng J Med.* 2009;360(2):140-9. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0801581>.
29. Flück D, Morris LE, Niroula S, Tallon CM, Sherpa KT, Stemberge M, *et al.* UBC-Nepal expedition: markedly lower cerebral blood flow in high-altitude Sherpa children compared with children residing at sea level. *J Appl Physiol.* 2017;123:1003-10. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00292.2017>.
30. Kuenzel A, Marshall B, Verges S, Anholm JD. Positional Changes in Arterial Oxygen Saturation and End-Tidal Carbon Dioxide at High Altitude: Medex 2015. *High Alt Med Biol.* 2020;21(2):144-51. Disponible en: <https://doi.org/10.1089/ham.2019.0066>.
31. Bourdillon N, Yazdani S, Subudhi AW, Lovering AT, Roach RC, Vesin J-M, *et al.* Altitude Omics: Baroreflex Sensitivity During Acclimatization to 5,260 m. *Front Physiol.* 2018;9:767. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00767>.
32. Viruez-Soto JA, Tinoco-Solórzano A, Gonzales JC. Espacio muerto y destete de ventilación mecánica invasiva en residentes de la gran altitud. *Horiz Med (Lima).* 2020;20(4):e958. DOI: <https://doi.org/10.24265/horizmed.2020.v20n4.02>
33. Bigatello L, Pesenti A. Respiratory Physiology for the Anesthesiologist. *Anesthesiology.* 2019;130(6):1064-77. DOI: <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002666>.
34. Ortiz-Prado E, Dunn JF, Vasconez J, Castillo D, Viscor G. Partial pressure of oxygen in the human body: a general review. *Am J Blood Res.* 2019 [acceso 23/01/2023];9(1):1-14. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6420699/>
35. Kreit JW. Volume Capnography in the Intensive Care Unit: Physiological Principles, Measurements, and Calculations. *Ann Am Thorac Soc.* 2019;16(3):291-300. DOI: <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201807-501CME>.

36. Harve-Rytsälä H, Angerman S, Kirves H, Nurmi J. Arterial and end-tidal carbon dioxide partial pressure difference during prehospital anaesthesia in critically ill patients. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2021;65(4):534-9. DOI: <https://doi.org/10.1111/aas.13751>.
37. Bryant MK, Tremont JNP, Patel Z, Cook N, Udekwu P, Reid T, *et al*. Low initial pre-hospital end-tidal carbon dioxide predicts inferior clinical outcomes in trauma patients. *Injury*. 2021;52:2502-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.injury.2021.07.019>.
38. Champion EM, Cralley A, Robinson C, Sauer A, Pieracci FM, Lawless RA, *et al*. Prehospital end-tidal carbon dioxide predicts massive transfusion and death following trauma. *J Trauma Acute Care Surg*. 2020;89(4):703-7. DOI: <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002846>.
39. Champion EM, Robinson CK, Brant N, Ferrigno L, McIntyre R, Biesterveld B, *et al*. End-tidal carbon dioxide underestimates plasma carbon dioxide during emergent trauma laparotomy leading to hypoventilation and misguided resuscitation: A Western Trauma Association Multicenter Study. *J Trauma Acute Care Surg*. 2019;87(5):1119-24. DOI: <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002469>.
40. Shetty A, Sparenberg S, Adams K, Selvedran S, Tang B, Hanna K, *et al*. Arterial to end-tidal carbon dioxide tension difference (CO<sub>2</sub> gap) as a prognostic marker for adverse outcomes in emergency department patients presenting with suspected sepsis. *Emerg Med Australas*. 2018;30(6):794-801. DOI: <https://doi.org/10.1111/1742-6723.13095>.
41. Childress K, Arnold K, Hunter C, Ralls G, Papa L, Silvestri S. Prehospital end-tidal carbon dioxide predicts mortality in trauma patients. *Prehosp Emerg Care*. 2018;22(2):170-4. DOI: <https://doi.org/10.1080/10903127.2017.1356409>
42. Dudaryk R, Bodzin DK, Ray JJ, Jabaley CS, McNeer RR, Epstein RH. Low End-Tidal Carbon Dioxide at the Onset of Emergent Trauma Surgery Is Associated With Nonsurvival: A Case Series. *Anesth Analg*. 2017;125(4):1261-6. DOI: <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002283>
43. Mehta JH, Williams GW, Harvey BC, Grewal NK, George EE. The relationship between minute ventilation and end tidal CO<sub>2</sub> in intubated and spontaneously breathing patients undergoing procedural sedation. *PloS ONE*. 2017;12(6):e0180187. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180187>
44. Wall BF, Magee K, Campbell SG, Zed PJ. Capnography versus standard monitoring for emergency department procedural sedation and analgesia. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017;2017(3):CD010698. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010698.pub2>
45. Balogh AL, Petak F, Fodor GH, Tolnai J, Csorba Z, Babik B. Capnogram slope and ventilation dead space parameters: comparison of mainstream and sidestream techniques. *Br J Anaesth*. 2016;117(1):109-17. DOI: <https://doi.org/10.1093/bja/aew127>

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

### Contribuciones de los autores

*Conceptualización:* Francisco Antonio Cevallos Sacoto Correo.

*Curación de datos:* Francisco Antonio Cevallos Sacoto Correo.

*Análisis formal:* Francisco Antonio Cevallos Sacoto Correo.

*Adquisición de fondos:* Francisco Antonio Cevallos Sacoto Correo.

*Investigación:* Francisco Antonio Cevallos Sacoto Correo.

*Metodología:* Francisco Antonio Cevallos Sacoto Correo.

*Administración del proyecto:* Francisco Antonio Cevallos Sacoto Correo.

*Recursos:* Francisco Antonio Cevallos Sacoto Correo.

*Software:* Francisco Antonio Cevallos Sacoto Correo.

*Supervisión:* Francisco Antonio Cevallos Sacoto Correo.

*Validación:* Francisco Antonio Cevallos Sacoto Correo.

*Visualización:* Francisco Antonio Cevallos Sacoto Correo.

*Redacción del borrador original:* Francisco Antonio Cevallos Sacoto Correo.

*Redacción, revisión y edición:* Francisco Antonio Cevallos Sacoto Correo.