

Cómo citar este documento

Arteaga Santiago, Javier; Arteaga Soto, José Luis; Martín de Pablo, Angel. Optimización de la oxigenación artificial del paciente sometido a circulación extracorpórea (CEC) a través del análisis de los gases eferentes del oxigenador. Biblioteca Lascasas, 2015; 11(4). Disponible en <http://www.index-f.com/lascasas/documentos/lc0860.php>

Optimización de la oxigenación artificial del paciente sometido a Circulación Extracorpórea (CEC) a través del análisis de los gases eferentes del oxigenador

Javier Arteaga Santiago¹, José Luis Arteaga Soto², Angel Martín de Pablo³

¹Enfermero. Alumno del Máster en Técnicas de Perfusión y Oxigenación Extracorpórea de la Asociación Española de Perfusionistas impartido por la Universidad de Barcelona. ²Enfermero Perfusionista. Hospital Universitario Virgen Macarena. Sevilla, España. ³Anestesiólogo del Hospital Universitario Virgen Macarena. Sevilla, España.

Dirección para correspondencia: pepeluarte@gmail.com

Resumen

En la circulación extracorpórea que se establece en la cirugía cardiaca el objetivo principal es mantener una perfusión óptima de los pacientes, definida por una PcO_2 entre 35,0 y 45,0 mmHg y pO_2 por encima de 100 mmHg, para evitar así los efectos indeseables de la hipoxemia. El presente estudio, en una primera etapa, trata de establecer una correlación entre los gases emanados y analizados del oxigenador, que forma parte del circuito de circulación extracorpórea, con los resultados que se obtengan de las gasometrías de la sangre del paciente, que serían reflejo de la calidad de la perfusión que está recibiendo el paciente durante esta circulación. En un segundo tiempo, se plantearía un estudio de intervención a partir de la hipótesis generada en este primer momento, de manera que una vez definido el rango en que se deberían mover los gases emanados del oxigenador, se trataría de manejar la aportación de O_2 , la

temperatura del paciente etc., para mantener este rango y ver si esto implica la no aparición de hipoxemia y sus efectos.

Objetivo: Definir el rango de los gases emanados del oxigenador para relacionarlos con una perfusión óptima de los pacientes, definida por una PcO_2 entre 35,0 y 45,0 mmHg y pO_2 por encima de 100 mmHg, al tratarse de un sistema de oxigenación artificial (arterialización de la sangre).

Diseño: Estudio observacional descriptivo trasversal.

Emplazamiento: Unidad de Gestión Área del Corazón de los Hospitales Universitarios Virgen del Rocío y Macarena de Sevilla.

Pacientes: Se incluirán 80 pacientes que vayan a ser intervenidos de cirugía cardíaca que requiera circulación extracorpórea.

Palabras clave: Oxigenadores de Membrana, Circulación Extracorpórea, Gasometría, Hipoxia, Gases eferentes.

Abstract

To define the range of the gases come from the oxigenador to relate them to an ideal perfusion of the patients, defined by a PcO_2 between 35,0 and 45,0 mmHg and pO_2 over 100 mmHg, on having treated itself about a system of artificial oxygenation (arterialización of the blood). In this one it was giving priority to stage it would be a question of establishing a correlation between the gases come and analyzed of the oxigenador with the results that are obtained of the gasometrías of the blood of the patient, which would be a reflection of the quality of the perfusion that the patient is receiving. In the second time, a study of intervention would appear from the hypothesis generated in this first moment, so that once defined the range in which they should to him move the gases come from the oxigenador, would be a question itself to handle the contribution of O_2 , temperature of the patient etc., to support this range and to see if this implies not appearance of hipoxemia and his effects.

Key words: Oxygenators, Membrane; Extracorporeal circulation; Blood Gas Analysis; Hypoxia. Efferent gases

1. Introducción

En términos fisiológicos, el principal propósito del sistema cardiovascular es suministrar sangre rica en oxígeno a los tejidos para satisfacer los requerimientos metabólicos celulares, así como recoger las sustancias excretadas como el dióxido de carbono (CO_2).

Este CO_2 es producido constantemente a medida que el cuerpo metaboliza energía y se acumulará en la circulación con rapidez si los pulmones no lo eliminan adecuadamente. La hipoventilación alveolar conduce así a un aumento de la presión parcial de CO_2 , arterial (PaCO_2)^{1,2}, un trastorno llamado hipercapnia (el valor normal de la PaCO_2 es de 36-44 mmHg). El aumento en la PaCO_2 a su vez disminuye la relación entre el bicarbonato (HCO_3) y la PaCO_2 con la consecuente disminución en la acidez o aumento del pH sanguíneo¹.

Para poder determinar las presiones de diversos gases en un fluido se emplea la gasometría, que se puede realizar en cualquier líquido biológico, pero donde mayor rentabilidad diagnóstica se obtiene es en sangre; pudiéndose realizar en sangre venosa periférica, sangre venosa central y sangre arterial².

La gasometría sirve por tanto para evaluar el estado del equilibrio ácido-base (se utiliza preferentemente la sangre venosa periférica) así como para conocer la situación de la función respiratoria (sangre arterial). En ocasiones, puede servir para valorar el estado hemodinámico, utilizándose la saturación venosa de oxígeno en sangre venosa central (mixta)^{2,3}. Este procedimiento se realiza mediante un analizador de gases, que determina los siguientes parámetros:

- PH, que se expresa en unidades absolutas;
- Presión parcial de CO_2 (PCO_2), que se expresa en mmHg;
- Presión parcial de O_2 (PO_2), que se expresa en mmHg.

A partir de estos parámetros, se puede calcular el bicarbonato sódico (HCO_3), que es expresado en mEq/l, el exceso de bases (EB) y la saturación de oxígeno (SO_2).

La acidosis respiratoria acontece cuando existe un incremento de la PCO_2 o hipercapnia. Esta hipercapnia es la responsable de la disminución del ratio normal 20:1 en la relación HCO_3 : PCO_2 y por tanto de la disminución del pH³.

La retención de dióxido de carbono puede estar causada por hipoventilación o de modo menos habitual, por alteraciones en la relación ventilación–perfusión pulmonar¹⁻³. El análisis de gases sanguíneos revela en estas condiciones una disminución del pH, una

elevación del PCO_2 (>45 mmHg) y cambios mínimos en los niveles de bicarbonato sérico o exceso de base.

El choque circulatorio, también llamado shock circulatorio, se produce cuando la perfusión (el intercambio gaseoso) de los tejidos es insuficiente para cubrir la demanda de oxígeno y nutrientes para la respiración aeróbica celular. Normalmente si existe hipoxemia, éste es el factor determinante; sin embargo la sola elevación de los niveles de CO_2 puede tener severos efectos^{2,4}.

Una elevación de los niveles de PCO_2 genera vasodilatación e incremento del flujo sanguíneo cerebral, lo cual puede resultar en signos tales como:

- Cuadros de ansiedad.
- Depresión.
- Acidosis cerebral severa en casos graves.
- Disfunción neurológica (niveles > 100 mmHg ocasionan la llamada “narcosis por dióxido de carbono”).
- Vasodilatación periférica.
- Hipertermia.
- Taquicardia.

En los casos mas graves de una alteración en la perfusión de los tejidos se produciría un shock circulatorio. Puede tener una gran variedad de efectos, todos ellos con desenlaces similares, pero en esencia todos relacionados con la hipoxemia⁴.

Sobre la base fisiológica descrita, cabría preguntarse **¿Qué ocurre cuando un paciente de cirugía cardíaca intervenido con circulación extracorpórea ha estado hipoperfundido durante la intervención?**

2. Circulación Extracorpórea (CEC)

Los pacientes sometidos a circulación extracorpórea (CEC), dado que para la intervención es necesario detener el corazón, tienen anulada la circulación menor, por lo que necesitan de un dispositivo artificial que convierta la sangre venosa que le llega, en sangre arterializada antes de su devolución al torrente circulatorio. Este dispositivo es el oxigenador, que está intercalado dentro de un circuito complejo y completo de circulación extracorpórea⁵.

Al oxigenador llega la sangre venosa procedente del paciente por gravedad o sifonaje y se la hace converger en una cámara con los gases procedentes de un mezclador. Este mezclador normalmente aporta una combinación de aire y oxígeno, y en determinadas

ocasiones se le agregan gases anestésicos para mantener la anestesia del paciente durante todo el procedimiento^{2,5}.

En los oxigenadores actuales (cuarta generación), a la cámara de intercambio se hace llegar por una parte la sangre venosa procedente del paciente, y cruzada con esta el gas anestésico, produciéndose el intercambio gaseoso de un modo similar a como se produciría en los alvéolos pulmonares. El gas circula por el interior de unos finos capilares, y la sangre va por fuera de ellos, y por diferencia de presiones se produce el intercambio gaseoso⁵. Para evitar la sobrepresión en esta cámara y por lo tanto alterar este intercambio, estos oxigenadores disponen de un mecanismo de evacuación de los “gases expirados” por este. Este mecanismo consiste en un orificio a modo de chimenea, en el cual se inserta un tubo que expulsa los gases al ambiente del quirófano, que pueden ser evacuados directamente o extraídos para su análisis.

Durante el procedimiento de circulación extracorpórea, el enfermero perfusionista, encargado de los cuidados del paciente en esta situación, debe manejar múltiples parámetros hemodinámicos, volumétricos, de presiones, temperaturas, etc., y combinarlos con la respuesta del paciente en cada momento y los requerimientos de la propia cirugía para garantizar una correcta perfusión del paciente durante el procedimiento de parada cardiocirculatoria³.

Por tanto, pudieran ser múltiples los factores que influirían en la aparición de complicaciones tempranas o tardías en el postoperatorio, pero sobretodo, hay una a la que se debe prestar especial atención, que es la hipoperfusión de los tejidos mantenida durante la CEC y que puede derivar en:

- Un aumento de la pCO_2 que genera vasodilatación cerebral con aumento concomitante de la corriente sanguínea destinada al cerebro, provocando al mismo tiempo hiperpresión pulmonar. También puede sensibilizar el corazón a los efectos de las catecolaminas, disminuyendo así el umbral para la fibrilación ventricular⁶.
- Una disminución de la pCO_2 que alteraría la membrana alveolocapilar pulmonar y aumentaría la fragilidad de los hematíes, produciendo al tiempo vasoconstricción cerebral, disminución del gasto cardíaco y depresión de la capacidad contráctil del miocardio⁶.

Hemos de tener en cuenta que la aparición de hipoxia postoperatoria es muy frecuente, estando descritas prevalencias en torno al 30% de pacientes intervenidos con CEC, lo

que se relaciona además de con la sintomatología descrita con un aumento de la estancia en la unidad de cuidados intensivos⁷.

En resumen, según lo descrito, en el circuito de CEC intervienen por un lado la combinación de gases de aire y oxígeno más gases anestésicos, que intercambian con la sangre venosa procedente del paciente hasta convertirla en sangre arterializada que vuelve al paciente. En este intercambio se producen gases de desecho que se expulsan al exterior a través de la chimenea del sistema.

Los gases eferentes del oxigenador, que pueden ser medidos, son:

- Oxígeno (O₂).
- Dióxido de carbono (CO₂), como consecuencia del metabolismo celular.
- Gas anestésico, en caso que se intercale en la línea del mezclador de gas.
- MAC (concentración alveolar mínima). Es la concentración alveolar mínima de un gas anestésico determinado que teniendo en cuenta la edad del paciente, garantiza que un 50% de los pacientes están bajo una hipnosis adecuada durante su uso.

Si dispusiéramos de un análisis de los gases eferentes que se eliminan por la chimenea, se dispondría de una información muy útil para poder ajustar la perfusión a las necesidades reales del paciente y evitar de esta forma o minimizar los efectos de la hipoperfusión antes descritos. Hemos de tener en cuenta que los gases que emanan del oxigenador van a depender en cantidad y calidad del gas o mezcla de gases que se suministren al oxigenador y del aprovechamiento que hagan las células de estos.

En este sentido no se ha localizado literatura en las bases de datos internacionales que trate sobre el análisis de los gases eferentes del proceso, como elemento de información que permita el ajuste de la circulación extracorpórea para evitar la hipoxia.

El objetivo que se plantea en el presente estudio es relacionar los gases eferentes del oxigenador con una perfusión optimizada para mejorar la calidad asistencial, paliando o minimizando en lo posible la aparición de hipoxemia y los efectos negativos que se pudieran derivar de la misma.

Para ello, teniendo en cuenta el flujo de la máquina de CEC, la presión arterial media del paciente en cada momento, su temperatura y conociendo el gas suministrado, la distribución de gases en sangre arterial y venosa a través de gasometrías, es posible que analizando el gas emanado después del intercambio se puedan ajustar los diferentes

parámetros de la perfusión para mantener los gases salientes dentro un rango óptimo, garantizando así la oxigenación del paciente.

3. Objetivo

Definir el rango de los gases emanados del oxigenador para relacionarlos con una perfusión óptima de los pacientes, definida por una PcO_2 entre 35,0 y 45,0 mmHg y pO_2 por encima de 100 mmHg, al tratarse de un sistema de oxigenación artificial (arterialización de la sangre).

En esta primera etapa se trataría de establecer una correlación entre los gases emanados y analizados del oxigenador con los resultados que se obtengan de las gasometrías de la sangre del paciente, que serían reflejo de la calidad de la perfusión que está recibiendo el paciente.

En un segundo tiempo, se plantearía un estudio de intervención a partir de la hipótesis generada en este primer momento⁸, de manera que una vez definido el rango en que se deberían mover los gases emanados del oxigenador, se trataría de manejar la aportación de O_2 , la temperatura del paciente etc., para mantener este rango y ver si esto implica la no aparición de hipoxemia y sus efectos.

4. Hipótesis para un segundo tiempo de investigación

Manteniendo el rango de los gases emanados del oxigenador dentro de unos límites a definir se puede minimizar la aparición de hipoxemia, optimizando la perfusión, en los pacientes sometidos a CEC por cirugía cardíaca.

5. Diseño.

Se trata de un estudio observacional descriptivo transversal.

6. Pacientes y método

6.1 Población y muestra

Se incluirán pacientes que se sometan a CEC y que cumplan los siguientes criterios:

De inclusión

- Mayor de edad.
- Intervenido de cualquier patología donde deba usarse un circuito de CEC que lleve incorporado un oxigenador artificial.
- Que acepte participar en el estudio.

De exclusión

- Pacientes intervenidos con CEC de urgencia/emergencia.
- Aquellos pacientes, que aunque sean sometidos con CEC, no lleven incorporado un oxigenador en el circuito.

Para el estudio se incluirán un total de 80 pacientes seleccionados aleatoriamente de entre todos los intervenidos en la unidad en 2015 que cumplan los criterios de inclusión. Al tratarse de un diseño descriptivo y no disponer de datos previos sobre el tema, no es posible establecer un tamaño muestral mínimo, aunque con el grupo propuesto, al tratarse de un grupo grande y ser seleccionado de manera aleatoria se puede considerar que se trata de una muestra representativa de la población diana.

El estudio se realizará entre septiembre de 2014 y febrero de 2016, incluyendo en este periodo el tiempo relativo a la confección de las herramientas adecuadas para su desarrollo, así como a la recogida de los datos y su posterior análisis estadístico.

6.2 Emplazamiento

El estudio se realizará en la unidad de Cardiología y Cirugía Cardiovascular del HU Macarena de Sevilla, la cual es promotora del mismo, siendo sus responsables los autores anteriormente citados, a saber, Javier Arteaga Santiago, José Luis Arteaga Soto y Ángel Martín de Pablos, dentro del área quirúrgica, donde se realizan las cirugías con circulación extracorpórea (quirófanos 205 y 206). En esta unidad se practican anualmente entre 350 y 400 cirugías con CEC, de las que un 30% corresponden a intervenciones de coronarias, un 45% a valvulares, un 5% a una combinación de ambas y el 20% restante a otras patologías.

6.3 Método

En un primer momento se trata de fijar el rango de los gases emanados del oxigenador que aseguran una correcta perfusión del paciente.

Para ello, primeramente se registrará la cantidad de gas anestésico suministrado con el vaporizador en la línea de suministro de gas al oxigenador, para inmediatamente analizar la cantidad de gas saliente (sobrante), y relacionarlo con los demás parámetros que nos proporciona dicho analizador, como son: CO₂ expresado en mmHg, O₂ en %, gas anestésico que se este utilizando expresado en % y la MAC (concentración alveolar mínima) de dicho gas, expresada en %.

Se registrarán estos parámetros antes de entrar el paciente en circulación extracorpórea (basal) y cada 30 minutos de después de la entrada en CEC y hasta la finalización de la misma.

- Paralelamente antes de entrar en CEC y mediante gasometría arterial y venosa se analizarán los siguientes parámetros:
 - Concentración de glucosa (cGlu) en mg/dL, concentración de potasio (cK+) en mmol/L, pH, presión parcial de dióxido de carbono (pCO₂) en mmHg, presión parcial de oxígeno (pO₂) en mmHg, exceso de base (cBase) en mmol/L, bicarbonato (cHCO₃) en mmol/L, hematocrito (Hct) en % y hemoglobina (Hba) en g/dL. La fuente de obtención de las muestras sanguíneas para análisis serán los puertos arteriales y venosos del oxigenador.

Después de entrada en CEC, se repetirán estas mismas mediciones a los 10 minutos, 30, 60, 90 minutos, y así cada 30 minutos hasta finalizar la CEC.

- Igualmente en los mismos periodos de tiempo (basal, 10', 30', 60', etc.) se registrarán variables del paciente como:
 - Determinación de las presiones de los gases afluentes de la chimenea del oxigenador, es decir Oxígeno (O₂), Dióxido de carbono (CO₂), Gas anestésico que se esté empleando y concentración alveolar mínima (MAC) del gas anestésico.
 - Saturación cerebral (monitor existente en quirófano), profundidad anestésica a través del índice bispectral (Bis), concentración de oxígeno en el aire inspirado (FiO₂), Aire+O₂, concentración alveolar mínima (MAC), litros por minuto de la máquina de CEC (Lpm) y presión arterial media (PAM).
 - Se registrarán las variables relacionadas con el paciente, como edad, sexo, talla, superficie corporal, tipo de intervención, temperatura vesical, tiempo de cirugía (en minutos), tiempo de clampaje (en minutos) y tiempo de CEC (en minutos).

6.4 Materiales disponibles

El material para la investigación será el que se dispone actualmente en el quirófano de cirugía cardiovascular, a saber:

- Gasómetro ABL 90 Flex de la marca Radiometer.
- Capnografo CAPNOMAC ÚLTIMA de Datex.
- Tabla en Excel, confeccionada para tal fin, donde anotaremos todos los parámetros antes mencionados,
- Volcado de los datos a la página, para su posterior procesamiento estadístico con programa SPSS 20.0 para Windows.

7. Consideraciones éticas

El proyecto se desarrollará en todo momento siguiendo los principios éticos recogidos en la declaración de Helsinki, incluyendo la solicitud de consentimiento informado a todos los pacientes que se incluirán en el mismo. Todos los registros y el correspondiente consentimiento informado de cada paciente se encontrarán debidamente custodiados por el investigador principal, estando identificados únicamente por el número asignado de caso, cumpliendo la legislación sobre protección de datos española (Ley orgánica 15/1999 de 13 de Diciembre). Antes de la realización de este protocolo se solicitará la autorización del Comité de Ética de la Investigación del centro.

8. Análisis de los datos

Primero se realizará una exploración o inspección de los datos para identificar valores extremos y caracterizar diferencias entre subgrupos de individuos. Posteriormente se procederá a realizar el análisis descriptivo de la muestra.

Las variables numéricas se resumirán con medias y desviaciones típicas o, si las distribuciones son asimétricas, con medianas y cuartiles, mientras que las variables cualitativas se expresarán con porcentajes. Estas medidas se determinarán globalmente y para subgrupos de casos. Asimismo, este análisis se complementará con distintas representaciones gráficas según el tipo de información (cuantitativa/ cualitativa).

Para analizar la asociación entre las variables correspondientes a los parámetros analíticos de los gases eferentes del oxigenador y los parámetros propios de la gestión de gases del paciente se empleará el coeficiente de correlación de Pearson o Rho de Sperman, según sigan distribuciones normales o no.

Se estimará el porcentaje de hipoxemias ocurridas y su intervalo de confianza al 95%.

Para analizar si la aparición de hipoxemias está relacionada con las variables cuantitativas se empleará la prueba T de Student para muestras independientes o la U de Mann-Whitney.

9. Cronograma.

El cronograma propuesto para este estudio es el siguiente:

- Actividad 1 (mes 1): Diseño del formato de recogida de datos en papel y su posterior traslado a la hoja de cálculo Excel, previamente confeccionada para tal fin.
- Actividad 2 (mes 2 al 6): Elaboración y recogida en quirófano de los contenidos del estudio. El día previo al estudio, visita a los pacientes para su informe y firma del acuerdo si procede para participar en el estudio.
- Actividad 3 (mes 7): Análisis estadístico de los datos y confección de los resultados y de las conclusiones. Elaborar artículo científico. Difusión de resultados.
- El investigador principal se encargaría de la coordinación del estudio, custodia de los datos recogidos y control del cumplimiento de los plazos establecidos.

10. Limitaciones estudio

En este caso, la limitación más evidente podría ser la imposibilidad de plantear un diseño experimental y plantearlo como estudio observacional, aunque por otro lado, es la condición más ecológica.

Como posibles vías de continuación, se plantea intentar asociar los rangos de oxigenación del paciente en el proceso de la circulación extracorpórea (CEC) con los resultados postquirúrgicos en términos de salud (cefaleas, dolor en general, hipertensión, náuseas, etc.) e intentar construir un modelo predictivo.

11. Bibliografía

1. Gomar C, Mata MT, Pomar JL. Fisiopatología y técnicas de Circulación extracorpóreas. 2ª edición. Barcelona: Asociación Española de Perfusionistas. Editorial Ergon; 2011.
2. Shapiro B, Peruzzi W, Templin R. Manejo Clínico de los Gases Sanguíneos. 5ª Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 1998.
3. Seifter JL. Acid-base disorders. En: Goldman L, Ausiello D, eds. Cecil Medicina. 23rd ed. Philadelphia, Pa: Saunders Elsevier; 2007:chap 119.
4. Vincent JL, Ince C, Bakker J. Circulatory shock — an update: a tribute to Professor Max Harry Weil. Crit Care 2012; 16:239
5. Arteaga JL, Santos S. El paciente sometido a circulación extracorpórea. En: Rayón E. Manual de Enfermería Médico-Quirúrgica. Madrid: Síntesis; 2002. cap 89.
6. Suárez G, García de Lorenzo M, Suárez JR. Lesiones neurológicas durante la circulación extracorpórea: fisiopatología, monitorización y protección neurológica. Med Intensiva 2002;26(6):292-303
7. Ranucci M, Ballotta A, La Rovere MT, Castelvechio S. Postoperative hypoxia and length of intensive care unit stay after cardiac surgery: the underweight paradox?. PLoS One. 2014 Apr 7;9(4):e93992.
8. Elnea Sinovas P (Dir). Manual de investigación cuantitativa para enfermería. 1º edición. Madrid: Federación de Asociaciones de Enfermería comunitaria y de Atención Primaria; 2011
9. Hospitales Universitarios Virgen Macarena y Virgen del Rocío. Memoria 2012 Hospital Macarena. Sevilla: Hospital Universitario Virgen Macarena - Virgen del Rocío; 2013