

Gradiente de CO₂ veno arterial como herramienta en la monitorización de la hipoperfusión tisular en circulación extracorpórea.

Gradient of CO₂ venoarterial as a tool in the monitoring of tissue hypoperfusion in extracorporeal circulation.

RESUMEN / ABSTRACT

Objetivo: Evaluar si el gradiente de CO₂ venoarterial puede ser utilizado como herramienta en la monitorización de la hipoperfusión tisular en circulación extracorpórea (CEC).

Material y métodos: Estudio observacional, analítico y prospectivo para determinar la eficiencia del uso del gradiente de CO₂ venoarterial en la monitorización de la hipoperfusión tisular.

Resultados: La muestra la componen 23 pacientes intervenidos bajo CEC, y con factores de riesgo cardiovascular. La media de los tiempos de CEC fue de 104±30 y de 79±25 minutos para el clampaje aórtico. En todos los casos se administró Cardioplegia del Nido y se utilizó recuperador celular. Un 77,3% no presentaron complicaciones y fueron dados de alta sin incidencias. Al estudiar la relación existente entre el gradiente de CO₂ venoarterial y el ácido láctico, encontramos significación estadística tras el despinzamiento aórtico (p=0,017) y en el postoperatorio inmediato (p=0,035), mientras que al estudiar la relación con la saturación venosa de O₂, ésta, fue significativa a los 30 minutos de la CEC (p=0,019) y al finalizar la cirugía (p=0,0038). El aporte y extracción de O₂ se correlacionó con el ácido láctico y la saturación venosa tras administrar la cardioplegia (p=0,056) y a los 30 min de circulación extracorpórea (p=0,011).

Conclusiones: No podemos afirmar que el gradiente de CO₂ venoarterial pueda ser utilizado como herramienta en la monitorización de la hipoperfusión tisular durante la CEC.

Palabras clave: Cirugía cardíaca; circulación extracorpórea; perfusión tisular; monitorización; CO₂.

Objective: Evaluate if the venoarterial CO₂ gradient can be used as a tool in the monitoring of tissue hypoperfusion in cardiopulmonary bypass (CPB).

Material and method: Observational, analytical and prospective study to determine the use of the venoarterial CO₂ gradient in the monitoring of tissue hypoperfusion.

Results: 23 patients underwent surgery with CPB and with cardiovascular risk factors. The average of CPB time was 104 ± 30 y 79 ± 25 minutes for aortic clamping. In all cases, Cardioplegia del Nido was administered and a cell saver was used. 77,3% had no complications and were discharged without incident. When studying the relationship between the veno-arterial CO₂ gradient and lactic acid, we only found statistical significance after aortic unclamping (p=0,017) and in the immediate postoperative period (p=0,035), while studying the relationship with Venous O₂ saturation, this was significant 30 minutes after CPB (p=0,019) and at the end of surgery (p=0,0038). Oxygen supply and oxygen extraction correlate quite well with lactic acid and venous saturation after administering cardioplegia (p=0,056) and after 30 min of CPB (p=0,011).

Conclusions: We can't affirm that the venoarterial CO₂ gradient can be used as a tool in the monitoring of tissue hypoperfusion during CPB.

Keywords: Cardiac surgery; cardiopulmonary bypass; tissue perfusion; monitoring; CO₂



Tania Tíneo Drove

Enfermera Perfusionista

Unidad de Perfusión

Hospital Universitario de La Princesa

Nuria Oliva Illescas

Enfermera Perfusionista

Unidad de Perfusión

Hospital Universitario de La Princesa

Jorge Utanda Hervás

Enfermero Perfusionista

Unidad de Perfusión

Hospital Universitario de La Princesa

Nieves de Antonio Anton

FEA del Servicio de Cirugía Cardíaca

Hospital Universitario de La Princesa

Tania Tíneo Drove

Email: tania.tineo@salud.madrid.org

Hospital Universitario de La Princesa.

C/ Diego de León 62. 28006. Madrid

Recibido: septiembre de 2021

Aceptado: noviembre de 2021

<https://doi.org/10.36579/rep.2021.71.1>

INTRODUCCIÓN

En las Unidades de Cuidados Intensivos se describe una disminución de la mortalidad después de cirugías de alto riesgo, cuando se trabaja con Terapias Guiadas por Objetivos¹. Más tarde, los perfusionistas, lo incorporan a su práctica habitual, siendo Philip de Somer quien acuña el término por primera vez basándose en los estudios de Ranucci.

Las sociedades científicas² definen el shock como una elevación del ácido láctico (lac.) y/o disminución de la saturación venosa (SvO₂), constituyéndose como una entidad que evidencia la hipoperfusión tisular.

El grado de hiperlactemia y acidosis metabólica va relacionado con el desarrollo de fracaso orgánico. Así mismo y como consecuencia del paso del metabolismo aeróbico a anaeróbico, se va a producir también un aumento de la extracción de oxígeno (ERO₂) de la sangre arterial. El uso de ambas variables tiene limitaciones, y utilizadas de manera independiente no resulta el método más correcto para medir estados de hipoperfusión tisular.

Es por ello, que aparece en la literatura científica el gradiente de CO₂ (dióxido de carbono) como marcador, para evaluar la perfusión sistémica y la utilización de oxígeno en la periferia³. Fisiológicamente los valores de CO₂ venoso son mayores que los de CO₂ arteriales, debido a la producción de CO₂ a nivel periférico, al consumo de oxígeno (VO₂), así como al metabolismo en general. En condiciones de normalidad, el contenido de CO₂ presenta una relación lineal, pero es en los estados de bajo gasto y en estados anaerobios de producción de CO₂, donde puede aumentar dicho contenido venoso y ampliar de este modo la diferencia de unos márgenes considerados normales.

La medición de los niveles de CO₂ está siendo utilizada hoy en día, como una herramienta fundamental en la monitorización de la perfusión tisular en el manejo del paciente crítico⁴. En condiciones fisiológicas el gradiente de CO₂ venoarterial (V-A) debe ser menor de seis⁵.

Puesto que durante la circulación extracorpórea (CEC) el intercambio gaseoso se realiza a través de una membrana y se modifica la fisiología pulmonar normal, queremos evaluar si el gradiente de CO₂ V-A puede ser utilizado como herramienta en la monitorización de la hipoperfusión tisular⁶, valorando su relación con la producción de ácido láctico y la saturación venosa de oxígeno.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio observacional, analítico y prospectivo para determinar el uso del gradiente de CO₂ V-A en la monitorización de la hipoperfusión tisular, durante los meses de Marzo a Mayo del 2020. El trabajo se llevó a cabo entre los Servicios de Cirugía Cardíaca, Anestesia y Reani-

mación y Cuidados Intensivos de un hospital de tercer nivel en la Comunidad Autónoma de Madrid.

La muestra la componen todos los pacientes que precisaron una intervención quirúrgica durante el periodo de estudio. Se incluyeron pacientes mayores de 18 años, sometidos a cirugía cardíaca bajo CEC, y se excluyeron pacientes que precisaron hipotermia, así como aquellos en situación de bajo gasto e hipoperfusión tisular.

Las determinaciones gasométricas se analizaron en con el gasómetro GEM PREMIER PLUS serie 4000 y la monitorización del estado del paciente se llevó a cabo mediante el monitor de gases en línea CDI500 (Terumo) y el Monitor Landing de perfusión tisular o GDP (EUROSETS), así mismo se monitorizó el estado hemodinámico, oxigenación, perfusión cerebral y profundidad anestésica, así como los iones y la hemoglobina.

A cada paciente se le realizaron 6 determinaciones analíticas, 6 gasometrías arteriales (GA) y 6 gasometrías venosas (GV), en diferentes momentos del periodo perioperatorio en los que podemos encontrarnos en situaciones de bajo gasto e hipoperfusión (6 tiempos de estudio): Tiempo 1: Inducción de la anestesia; 2: Tras Cardioplegia; 3: A los 30 minutos de la CEC; 4: Tras el despinzamiento aórtico; 5: Al finalizar la cirugía (15 min tras la administración de protamina); y 6: En el postoperatorio inmediato al ingreso en UCI. Los datos se recogieron en una hoja elaborada para dicho fin.

Para la CEC se usó el oxigenador Set Inspire La Princesa ad. 6F Dual, distribuido por Palex Medical. Los flujos de gas y la FiO₂ se ajustaron con la medición de los gases en línea para mantener una PO₂ entre 150-300 mmHg y para una PCO₂ arterial de 35-45 mmHg. Para el cálculo del gradiente de CO₂ V-A, se restó el CO₂ arterial al CO₂ venoso, considerando normal un valor igual o inferior a 6.

Se recogieron otras variables como la necesidad de hemoderivados, desfibrilación tras desclampaje, tiempo de ventilación mecánica, así como complicaciones postoperatorias.

Análisis estadístico:

Se ha realizado un análisis descriptivo para cada parámetro, se ha estudiado la reproducibilidad de los diferentes procedimientos mediante el coeficiente de correlación de Pearson y su correspondiente prueba de hipótesis (p<0,05).

Se han elaborado unas tablas de contingencia con las proporciones, calculado con el Test exacto de Fischer, y se han comparado las medias con un T-Test (p<0,05). Se utilizó el programa estadístico STATA v 13.0.

Aspectos éticos:

Para la realización del estudio fue necesaria la aprobación del Comité de Ética y de la Comisión de Adecuación de

Estudios, y cada paciente tuvo que firmar el Consentimiento Informado.

RESULTADOS

La muestra la componen 23 pacientes sometidos a una cirugía bajo CEC de manera programada (95,7%) o urgente (4,4%). Un 30,4% de la muestra la componen mujeres, frente a un 69,6% de hombres con una media de edad de $70,0 \pm 9,3$ años de los cuales un 91,3% presentaba factores de riesgo cardiovascular.

Del total, 12 fueron sometidos a recambios valvulares, 5 pacientes a una derivación aorto coronaria, a 4 se le intervino de un procedimiento mixto de sustitución valvular y derivación coronaria, y a 2 se les realizó la exéresis de masas auriculares (mixomas).

La media de los tiempos de CEC fue de 104 ± 30 minutos y 79 ± 25 minutos para el clampaje aórtico. En un 100% de los casos se administró Cardioplegia del Nido, y únicamente un 8,7% de los pacientes precisaron desfibrilación tras el despinzamiento aórtico. La media de los indicadores de gravedad fue la siguiente: Euroscore I: $6,8 \pm 6,1$; y Euroscore II: $3,5 \pm 3,9$.

Se utilizó recuperador celular en el 100% de los casos, recuperando una media de 550 ± 295 ml de hematíes. Solo un 26,1% precisó, además, transfusión de derivados sanguíneos. Un 77,3% no presentó complicaciones y fue dado de alta sin incidencias.

En cada tiempo de análisis se han obtenido datos que permiten una correcta monitorización en CEC, tanto del lac. como de la SvO_2 , así como del aporte (DO_2) y ERO_2 .

Hemos observado que es en el postoperatorio inmediato, cuando se alcanza el valor más alto de lac. $2,37 \pm 1,39$ mmol/L y el valor más bajo de la SvO_2 $71,5 \pm 7,1$ % (Tabla 1). Y que la evolución del DO_2 y la ERO_2 se ha mantenido muy estable y por encima de los límites establecidos durante el bypass cardiaco (Tabla 2).

Se ha estudiado la relación existente entre el gradiente de CO_2 V-A y el lac., así como la relación entre el gradiente de CO_2 V-A y la SvO_2 , calculando en cada tiempo, el coeficiente de correlación de Pearson (r) y su p-valor, para cuantificar el grado de variación conjunta entre dos variables. Únicamente se ha encontrado significación estadística tras el despinzamiento aórtico ($p=0,017$) y en el postoperatorio inmediato ($p=0,035$), mientras que al estudiar la relación con la SvO_2 , ésta, fue significativa a los 30 minutos del inicio de la CEC ($p=0,019$) y al finalizar la cirugía con una $p=0,0038$ (tabla 3).

Analizando todas las medidas, sin considerar los distintos tiempos, la muestra total es $n=138$, pudiéndose realizar las siguientes correlaciones, donde obtenemos en el caso del lac. un valor de $p=0,079$ y, para la SvO_2 un valor

de $p=0,002$ (tabla 4).

Hemos estudiado la asociación entre gradiente de CO_2 V-A >6 y transfusión, desfibrilación y complicaciones, sin encontrar diferencias estadísticamente significativas.

Para la variable horas de extubación, se han comparado las medias y se han obtenido los siguientes resultados: los pacientes con gradiente de CO_2 <6 ($n=5$) tienen un tiempo medio hasta la extubación de 5,8 horas, mientras que los pacientes con gradiente >6 ($n=17$) de 24,3 horas.

Se ha estudiado la correlación existente entre el DO_2 y la ERO_2 , con el lac. y la SvO_2 . Estas dos variables se correlacionan en los tiempos 2 (primera muestra en CEC tras cardioplegia) y 3 (a los 30 min de CEC). Sus coeficientes de correlación son, en el caso del DO_2 y el lac., $-0,4045$ en el tiempo 2 y $-0,5215$ en el tiempo 3.

DISCUSIÓN

Tras analizar los resultados obtenidos de nuestro estudio y teniendo en cuenta la situación actual con la crisis sanitaria por el COVID 19, disponemos de una muestra pequeña ($n<30$), con cierta heterogeneidad, por la variedad de los tipos de cirugía, edad, antecedentes, etc. Un porcentaje mayoritario se interviene de manera programada, siendo superior el número de hombres que el de mujeres y un porcentaje elevado con factores de riesgo cardiovascular. Los pacientes no precisaron transfusión de hemoderivados durante todo el procedimiento en un 74%, estando protocolizado el uso del recuperador celular de hematíes.

Durante todas las mediciones realizadas (6 tiempos, $n=138$), los niveles de lac., así como la SvO_2 se han mantenido estables, siendo ligeramente superior el lac. y ligeramente inferior la de SvO_2 a las 12 horas de la cirugía en el periodo del postoperatorio inmediato. No pudiendo considerar estas mediciones puntuales como indicadores de hipoperfusión tisular en el contexto descrito.

Así mismo durante la CEC las medidas de DO_2 y la ERO_2 se han mantenido estables, y dentro de los límites establecidos, tal y como señala Ranucci en sus estudios⁷.

Tras valorar las diferentes correlaciones entre los parámetros utilizados tradicionalmente en nuestro medio, y los parámetros que queremos validar, nos encontramos con un modelo muy simple donde no podemos afirmar que el gradiente de CO_2 venoarterial sirva como parámetro único para determinar un estado de hipoperfusión tisular.

Consideramos necesario un análisis dinámico, teniendo en cuenta que cada momento de la cirugía está influenciado por lo que ha pasado anteriormente, desde que el paciente ingresa en el quirófano, y sin poder dejar de lado el estado basal del paciente, ya que va a influir notablemente en cómo se comporte éste durante la CEC, y su recuperación en el postoperatorio.

Cabe preguntarse si: los parámetros de ventilación, ¿Afectarían a las relaciones que estamos estudiando?; la medicación administrada, ¿Podría modificar algunas de las variables de nuestro estudio?; el nivel de sedación, así como la profundidad anestésica, ¿Podría mejorar o disminuir la perfusión?; incluso se podrían evaluar diferentes técnicas de perfusión.

Nos encontramos ante un trabajo exploratorio, como aparecen correlaciones entre el gradiente de CO₂ con el lac. y/o la SvO₂, aunque sean débiles, se considera necesario continuar con la línea de investigación en este sentido.

Todas las correlaciones son débiles o moderadas, esto puede ser debido a que se trata de una muestra pequeña y poco homogénea. Sin embargo, dichos resultados coinciden con las investigaciones de Illescas et al, quienes señalan que el gradiente de CO₂ no debe ser utilizado como indicador de gasto cardíaco y/o metabolismo anaeróbico en pacientes sometidos a cirugía cardíaca¹⁰. Afirman que, al trabajar bajo CEC, estamos ante una situación diferente a la que se plantea en la resucitación del paciente crítico o del paciente séptico.

En algunos tiempos las variables medidas están más relacionadas y son más consistentes. Será uno de los puntos importantes para seguir avanzando en esta línea de investigación, ya que son varias las causas que pueden afectar a estas diferencias, desde los distintos mecanismos en cuanto a la producción y transporte de CO₂, patologías previas del paciente, las alteraciones en la curva de disociación de la hemoglobina, la hemodilución, así como el enfriamiento y posterior recalentamiento. No pudiendo olvidar la respuesta inflamatoria asociada a la CEC, que produce vasodilatación, afectando a la microcirculación y por tanto al lavado de CO₂ a nivel periférico.

No podemos hablar de significación estadística, pero al relacionar el gradiente de CO₂ con la trasfusión de sangre, sin embargo, si conviene señalar, que se transfunden más los pacientes que tienen de manera mantenida un gradiente de CO₂ venoarterial mayor de 6, como observamos en la bibliografía.

Ocurre algo parecido con la variable horas de extubación, y es que, aunque carece de significación estadística, los pacientes con gradientes mayores de 6 tienen una tendencia a tardar más horas en ser extubados.

En general, aunque no hayamos podido demostrar una clara relación entre el gradiente de CO₂ y los estados de hipoperfusión, consideramos que es necesario seguir realizando estudios en esta área de conocimiento.

CONCLUSIONES

No podemos afirmar que el gradiente de CO₂ V-A pueda ser utilizado como herramienta en la monitorización de la


hipoperfusión tisular durante la CEC.

La correlación existente entre el gradiente de CO₂ V-A y los marcadores de hipoperfusión tisular tradicionalmente utilizados, obtenidas en nuestro trabajo son en débiles, no pudiendo demostrar su reproducibilidad en cuanto sistemas de monitorización durante la CEC.

Debemos continuar con las investigaciones, debido a las peculiaridades existentes en el contexto de la cirugía cardíaca.

Cualquier método encaminado a realizar una adecuada monitorización en CEC y mejorar la perfusión está justificado, aunque no se pueda demostrar un impacto directo en la evolución clínica del paciente ni en la variable hipoperfusión.

IDENTIFICACIÓN ORCID

Tania Tineo:  <https://orcid.org/0000-0001-9595-2511>

Nieves de Antonio:  <https://orcid.org/0000-0002-7853-6986>

CONFLICTO DE INTERESES

Las autoras no presentan conflicto de intereses.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mouncey PR, Osborn TM, Power GS, Harrison DA, Sadique MZ, Grieve RD et al. Trial of early, goal-directed resuscitation for septic shock. *N Engl J Med.* 2015 Apr 2;372(14):1301-11. doi: 10.1056/NEJMoa1500896.
2. Mesquida J, Borrat X, Lorente JA, Masip J, Baigorri F. Objetivos de la reanimación hemodinámica. *Medicina Intensiva* 2001; (35)8: 499-508.
3. Castro HD. Lactato en circulación extracorpórea: Mitos y realidades. *En bomba* 2018; 2(1): 10-15.
4. Futier E, Robin E, Jabaudon M, Guerin R, Petit A, Bazin JE et al. Central venous O₂ saturation and venous-to-arterial CO₂ difference as complementary tools for goal-directed therapy during high-risk surgery. *Critical Care* 2010, 14: R193 <http://ccforum.com/content/14/5/R193>.
5. Diaztagle Fernández JJ, Rodríguez Murcia JC, Sprockel Diaz JJ. La diferencia venoarterial de dióxido de carbono en la reanimación de pacientes con sepsis grave y shock séptico: una revisión sistemática. *Medicina Intensiva* 2017; 41(7): 401-410.
6. Torregrosa S, Fuset MP, Castelló A, Mata D, Heredia T, Bel A, et al. Oxigenación de membrana extracorpórea para soporte cardíaco o respiratorio en adultos. *Cirugía Cardio-*

- vascular 2009; 16(22): 163-177.
7. Ranucci M, Romitti F, Isgro G, Cotza M, Brozzi S, Boncilli A, et al. Oxygen delivery during cardiopulmonary bypass and acute renal failure after coronary operations. *Ann Thorac Surg.* 2005; 80(6): 2213-20.
 8. Williams J, McLean A, Ahari J, Jose A, Al-Helou G, Ibi I, et al. Decreases in Mixed Venous Blood O₂ Saturation in Cardiac Surgery Patients Following Extubation. *J Intensive Care Med.* 2017 Jan; 88506661774135. doi: 10.1177/0885066617741435
 9. Morel J, Gergele L, Verveche D, Costes F, Auboyer C, Molliex S. Do fluctuations of PaCO₂ impact on the venous arterial carbon dioxide gradient? *Crit Care.* 2011; 15 (6): 456. <https://doi.org/10.1186/cc10528>. PMID: 22115122
 10. Illescas L, Kohn E, Bouchacourt JP, Cavalleri F, Hurtado J, Riva J. Utilidad de las medidas derivadas de la presión parcial de CO₂ en pacientes adultos sometidos a cirugía cardiaca con circulación extracorpórea. *Rev Chil Anest* 2019; 48: 412-426

Tabla I. Evolución del láctico y la saturación venosa de O₂ expresadas en media ± desviación estándar

	Ácido láctico (mmol/L)	SvO ₂ (%)
1	1,39 ± 0,68	76,2 ± 10,0
2	0,96 ± 0,31	86,2 ± 5,7
3	1,15 ± 0,39	83,6 ± 5,6
4	1,45 ± 0,49	83,4 ± 6,3
5	1,9 ± 0,87	78,9 ± 8,2
6	2,37 ± 1,39	71,5 ± 7,1

Tabla II. Evolución del aporte de O₂ y la extracción de O₂ expresadas en media ± desviación estándar

Tiempo	Aporte O ₂ (DO ₂) (ml/min/m ²)	Extracción O ₂ (ERO ₂) (%)
2	327 ± 61	20,2 ± 6,3
3	332 ± 65	21,1 ± 7,1
4	329 ± 68	21,3 ± 6,3

Tabla III. Correlación (Coef. corr.) entre el gradiente de CO₂ veno arterial con el ácido láctico y saturación venosa de O₂

Tiempo	Ácido láctico	Saturación Venosa de O ₂
1	0,2007	-0,2697
2	0,0434	-0,3819
3	0,1365	-0,4852
4	0,4920	-0,3176
5	0,4037	-0,5795
6	-0,4423	-0,3180

Tabla IV. Correlación existente entre el gradiente de CO₂ venoarterial, el ácido láctico y la saturación venosa de O₂

	Gradiente CO ₂		Ác. láctico	
	Coef. Correlación	p	Coef. Correlación	p
Gradiente CO ₂				
Ác. láctico	0,1500	0,0791		
SvO ₂	-0,4572	0,0000	-0,3077	0,002

Figura 1. Correlación entre el gradiente de CO₂ venoarterial y la saturación venosa de O₂ (n=138)

