



ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DERIVADAS DE LA PRESIÓN PARCIAL DE CO₂ DURANTE LA CIRCULACIÓN EXTRACORPÓREA.

HOSPITAL DE CLÍNICAS, 2019.

**Ciclo de metodología científica II – 2019
Grupo 36**

**Departamento de anestesiología, Hospital de
Clínicas Dr. Manuel Quintela.**

Orientadores:

Prof. Dr. Riva Juan

Prof. Agdo. Dr. Bouchacourt Juan Pablo

Integrantes:

Br. Latorre Rodrigo

Br. Núñez Sofía

Br. Ortiz Juliana

Br. Pereira Agustín

Br. Portela Nicolás

Br. Sobrero Santiago

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN.....	4
OBJETIVOS- PACIENTES Y MÉTODOS.....	5
RESULTADOS.....	7
DISCUSIÓN.....	12
CONCLUSIÓN.....	15
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
ANEXOS.....	18
AGRADECIMIENTOS.....	21

RESÚMEN

Introducción: Se ha propuesto utilizar los parámetros diferencia veno-arterial de CO₂ y el cociente de este sobre el contenido arterio-venoso de O₂ (Pv-aCO₂ y Pv-aCO₂/Ca-vO₂) como marcadores de hemodinamia y mortalidad, mostrando una buena relación entre estos en pacientes críticos sin llegar a un consenso en cirugía cardíaca.

Objetivo: Analizar el uso de la diferencia veno-arterial de PCO₂ (Pv-aCO₂) y del cociente entre Pv-aCO₂ y el contenido arterio-venoso de O₂ (Pv-aCO₂/Ca-vO₂) como marcadores de perfusión durante CEC en pacientes sometidos a cirugía cardíaca.

Pacientes y métodos: Estudio observacional descriptivo prospectivo en pacientes coordinados para cirugía cardíaca con circulación extracorpórea, del Hospital de Clínicas Montevideo, Uruguay en el año 2019. Se utilizaron muestras sanguíneas anonimizadas de las cuales se obtuvieron diferentes parámetros. Se calcularon Pv-aCO₂ y Pv-aCO₂/Ca-vO₂. El análisis estadístico de las variables se realizó con el test de correlación de Pearson, test de Regresión Lineal Múltiple y ANOVA para medidas repetidas. Las variables continuas se expresan como media $\pm$ desvío estándar. Se considera significativo un valor-p menor a 0,05.

Resultados: Según los resultados de este estudio la relación tanto entre la Pv-aCO₂ y el flujo de CEC como entre el cociente Pv-aCO₂/Ca-vO₂ y el flujo de CEC, existe una tendencia a la no dependencia. Si bien no hubo significancia estadística que respalde estos resultados, la baja relación lineal obtenida para ambos casos podría deberse a la existencia de distintas variables explicativas en juego que estuviesen interfiriendo en la interpretación de las variables de estudio, Pv-aCO₂ y Pv-aCO₂/Ca-vO₂.

Conclusión: Pv-aCO₂ y Pv-aCO₂/Ca-vO₂ no son buenos marcadores de perfusión sistémica y periférica en contexto de cirugía cardíaca con CEC, debido a la presencia de variables interferentes en su interpretación.

Palabras clave: Circulación extracorpórea (CEC), Cirugía cardíaca, Pv-aCO₂, Hemodinamia.

ABSTRACT

Introduction: It has been proposed to use CO₂ venous-arterial difference parameters and the quotient between CO₂ venous-arterial difference and the arterial-venous O₂ content difference (Pv-aCO₂ and Pv-aCO₂) as hemodynamic and mortality markers, showing a good relationship between this two in critical patients without getting a consensus in cardiac surgery.

Objective: To assess the use of PCO₂ venous-arterial difference (Pv-aCO₂) and the quotient between Pv-aCO₂ and the arterial-venous O₂ content difference (Pv-aCO₂/Ca-vO₂) as perfusion markers in patients who undertook cardiac surgery during cardiopulmonary bypass.

Patients and Methods: A prospective descriptive observational study in cardiac surgery coordinated patients undergoing cardiopulmonary bypass, in the Hospital de Clinicas Montevideo, Uruguay in 2019. It has been used anonymized blood samples from which it was obtained several parameters. Pv-aCO₂ and Pv-a/Ca-vO₂ were calculated. Pearson correlation test, multiple lineal regression and ANOVA for repeated measures were performed for statistical variables analysis. Continuous variables are expressed as mean± standard deviation. P value less than 0,05 were considered statistically significant.

Results: According to study results, it has been found that in both, the relationship between the Pv-a CO₂ and the cardiopulmonary bypass output as well as the relationship between Pv-aCO₂/Ca-vO₂ quotient and cardiopulmonary bypass output, there is a non-dependency trend. Although there was no statistical significance to support these results, a low linear relationship obtained in both cases could be explained by the existence of several explicative variables which might be interfering in the interpretation of other variables such as Pv-aCO₂ and Pv-aCO₂/ Ca-vO₂ quotient.

Conclusion: Pv-aCO₂ and Pv-aCO₂/ Ca-vO₂ quotient are not good as systemic and peripheral perfusion markers in cardiac surgery context undergoing cardiopulmonary bypass due to the presence of several interfering variables.

Key words: Cardiopulmonary Bypass (CPB), Cardiac surgery, Gap CO₂, Hemodynamic.

INTRODUCCIÓN

Diferentes autores han propuesto las medidas derivadas de la presión parcial de CO₂ (PCO₂) como indicadores de perfusión sistémica y/o periférica (1,2), así como su importancia como predictores de la evolución fundamentalmente en pacientes críticos (3). Esta propuesta se basa en el **principio de Fick**, donde la producción total de CO₂ (VCO₂) será igual al producto del gasto cardíaco (GC) por la diferencia del contenido venoarterial de CO₂ ($VCO_2 = GC \times C_{v-a}CO_2$). Asumiendo que en condiciones estables existe una relación casi lineal entre la PCO₂ y el contenido de CO₂ (CCO₂), se sustituye la $C_{v-a}CO_2$ por la diferencia venoarterial de PCO₂ ($P_{v-a}CO_2$). Por lo tanto, el $GC = VCO_2 / P_{v-a}CO_2$, es decir, existirá una relación lineal inversa entre gasto cardíaco y la $P_{v-a}CO_2$. Por otra parte, el cociente respiratorio (CR) se define como la relación entre VCO_2 / VO_2 (producción total de O₂). Mientras que la VCO_2 será igual a $GC \times P_{v-a}CO_2$, el VO_2 será igual al $GC \times$ contenido arteriovenoso de O₂ ($Ca-vO_2$). Al suprimir el GC, y asumiendo que la P_{vCO_2} y contenido venoso de O₂ de la sangre venosa mezclada es igual al contenido venoso de O₂ obtenido de la vena cava superior, el cociente respiratorio (CR) será igual $P_{vc-a}CO_2 / Ca-vCO_2$.

Si bien la propuesta es atractiva fundamentalmente por su accesibilidad, requiere condiciones estables para que se cumpla la premisa antes expuesta. Este cuestionamiento adquiere mayor relevancia en pacientes sometidos a cirugía cardíaca (CC) y especialmente los que requieren circulación extracorpórea (CEC), dado que la linealidad entre la PCO₂ y el CCO₂ puede verse afectada por cambios bruscos y de magnitud importante por la temperatura, pH, hemoglobina, VO_2 que son una constante en esta situación. Por tanto la $P_{v-a}CO_2 / Ca-vO_2$ y el $P_{vc-a}CO_2 / Ca-vCO_2$ son influenciados por variaciones en el tiempo de múltiples parámetros, en forma brusca, que afectan la producción y transporte de CO₂ y por lo tanto la linealidad entre PCO₂ y CCO₂, requerimiento necesario en el principio de Fick (1).

HIPÓTESIS

Los parámetros derivados de la PCO₂ no son buenos marcadores de perfusión sistémica ni periférica durante la cirugía cardíaca con CEC.

OBJETIVO GENERAL

Analizar el uso de la diferencia veno-arterial de PCO₂ (Pv-aCO₂) y del cociente entre Pv-aCO₂ y el contenido arterio-venoso de O₂ (Pv-aCO₂/Ca-vO₂) como marcadores de perfusión durante CEC en pacientes sometidos a cirugía cardíaca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar los determinantes de la diferencia veno-arterial de PCO₂ (Pv-aCO₂) y del cociente entre Pv-aCO₂ y el contenido arterio-venoso de O₂ (Pv-aCO₂/Ca-vO₂) durante la CEC.

PACIENTES Y MÉTODOS

Esta investigación se basa en un estudio observacional, descriptivo y prospectivo realizado a partir de la recolección de muestras sanguíneas anonimizadas en pacientes sometidos a cirugía cardíaca con circulación extracorpórea, aprobado por el comité de Bioética del Hospital de Clínicas Dr. Manuel Quintela Montevideo, Uruguay. Se solicitó consentimiento informado a los pacientes y se explicó la finalidad de la investigación, informando la utilidad de las muestras biológicas por éstos proporcionadas, las cuales fueron de carácter anónimo, utilizadas para fines académicos y en la práctica clínica.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron en forma consecutiva todos los pacientes sometidos a CC con CEC en el período Julio-Septiembre 2019. Se excluyeron los pacientes que expresaron su voluntad de no participación en la investigación.

Variables

Generales: edad, sexo, peso, altura, superficie corporal, comorbilidades, EuroScore2, características de la cirugía y de la CEC. Estos fueron obtenidos de los registros del Departamento de Anestesia de acuerdo a los protocolos ya establecidos.

Específicas: Se calculó la diferencia arteriovenosa de la presión de dióxido de carbono ($\Delta P_{v-aCO_2} = P_{vCO_2} - P_{aCO_2}$), y el cociente de este sobre el contenido arterio-venoso de O₂ ($\Delta P_{v-aCO_2} / Ca-vO_2$) (mmHg), a partir de la medición del PCO₂ ($GC_x[CvCO_2 - CaCO_2]$) y PO₂ arterial y venoso. Se registraron las mediciones de pH, el lactato (mMol/L), exceso de bases (BE), la hemoglobina (mg/dL), la temperatura (°C), la presión arterial media-PAM (mmHg), saturación venosa de O₂ (SvO₂) y el gasto cardiaco (mL/Kg/min). Previo y post CEC, las muestras fueron obtenidas de la línea arterial y de la vía venosa central. Durante la CEC, del reservorio venoso que corresponde a sangre venosa mezclada y de la línea arterial de la bomba de CEC.

Procedimiento Previo al inicio de la cirugía se obtuvieron los datos demográficos, de riesgo y de cirugía de la consulta preoperatoria realizada por el departamento de Anestesia. La CEC fue realizada según el protocolo establecido por el Hospital de Clínicas, adecuándose a los requerimientos de cada paciente y llevada a cabo por el equipo de perfusión. Durante el procedimiento se extraen rutinariamente muestras sanguíneas arteriales y venosas para el control de la hemodinamia y equilibrio ácido base del paciente, de estas muestras se registraron las variables anteriormente mencionadas en los tiempos T0 (pre CEC), T30, T60 y posterior a la CEC.

El **análisis estadístico** de las variables se realizó con el programa informático SPSS 20.0 donde se analizó la normalidad de la muestra con el test Shapiro Wilk. Se estudió la relación entre las variables medidas con la diferencia arteriovenosa de dióxido de carbono y el cociente entre esta y el contenido arteriovenoso de oxígeno utilizando el test de correlación de Pearson y un test de Regresión Lineal Múltiple. El análisis de las variables en el tiempo se realizó con ANOVA para medidas repetidas. Las variables continuas se expresan como media $\pm$ desvío estándar. Se considera significativo un valor-p menor a 0,05.

RESULTADOS

Fueron evaluados 28 pacientes. En la tabla 1 (anexos) se expresan las características de la población y de la cirugía.

En la tabla 2 se muestran la variación en el tiempo de las variables Pv-aCO₂, Pv-aCO₂/Ca-vO₂, lactato y EB. Se destaca la disminución significativa de Pv-aCO₂ a los 30, 60 minutos y post CEC comparado con pre-CEC.

En la correlación de Pearson se obtuvo $r = -0,07$ y $r = 0,07$ entre Pv-aCO₂ y Pv-aCO₂/Ca-vO₂ con el flujo en CEC respectivamente, careciendo de significancia estadística.

Entre lactato con Pv-aCO₂ y Pv-aCO₂/Ca-vO₂ se obtuvo $r = 0,11$ y $r = 0,01$, una correlación positiva para ambos casos, sin significancia estadística.

Se encontró una asociación lineal negativa entre exceso de bases con Pv-aCO₂ y Pv-aCO₂/Ca-vO₂ ($r = -0,30$ y $r = -0,29$), resultando la misma estadísticamente significativa.

En el modelo de regresión lineal múltiple fueron halladas las siguientes variables significativas determinantes de Pv-aCO₂: exceso de bases, hemoglobina, pH, y saturación venosa de oxígeno (tabla 3). Para el Pv-aCO₂/Ca-vO₂ se hallaron las siguientes: exceso de bases y pH (tabla 4).

El coeficiente de determinación ajustado (R²) hallado para el modelo de la variable Pv-aCO₂ fue de 0.28. Para el modelo de la variable Pv-aCO₂/Ca-vO₂ el coeficiente de determinación ajustado fue 0.12.

Tabla 1: Características de la población y de la cirugía

Características de la población y de la cirugía: resultados expresados en media $\pm$ desviación estándar y en porcentajes	
Pacientes de cirugía cardíaca (n = 28)	
Sexo	
Masculino	20 (71.4%)
Femenino	8 (28.6%)
Edad *	64.11 $\pm$ 12.50
EuroSCORE II *	3.09 $\pm$ 2.85
Tipo de cirugía	
Revascularización miocárdica	12 (42.9%)
Sustitución valvular	9 (32.1%)
Combinadas	4 (14.3%)
Cirugía de aorta	3 (10.7%)
Duración de la cirugía *	240.10 $\pm$ 48.63
Tiempo en CEC *	104.04 $\pm$ 34.46
Tiempo de clampeo aórtico *	69.62 $\pm$ 25.84
Comorbilidades	
Hipertensión arterial	21 (75%)
Dislipemia	14 (50%)
Obesidad	12 (42.86%)
SCASEST	12 (42.86%)
Tabaquismo/ex tabaquismo	15 (53.57%)

Abreviaciones: SCASEST, Síndrome Coronario Agudo sin elevación del ST.
 *Edad expresada en años; EuroSCORE II expresado en porcentaje; duración de la cirugía, tiempo en CEC y tiempo de clampeo aórtico expresados en minutos.

Tabla 2: Variación en el tiempo de Pv-aCO₂, Pv-aCO₂/Ca-vO₂, lactato y EB

VARIABLE	PRE CEC	30'	60'	POS CEC
P _{v-a} CO ₂ (mmHg)	7,56 $\pm$ 3,93	2,80 $\pm$ 1,87 *	2,19 $\pm$ 2,35 *	-1,07 $\pm$ 10,73 *
P _{v-a} CO ₂ /C _{a-v} O ₂	1,51 $\pm$ 1,39	1,32 $\pm$ 0,89	1,07 $\pm$ 1,21	1,91 $\pm$ 6,97 *
Lactato	1,53 $\pm$ 0,55	1,76 $\pm$ 0,48	1,77 $\pm$ 0,98	2,12 $\pm$ 0,91 *
EB	0,10 $\pm$ 3,59	3,88 $\pm$ 4,51 *	3,24 $\pm$ 4,73 *	-0,64 $\pm$ 4,15 #

Medidas expresadas en media $\pm$ desvío estándar

*Variación con respecto a PRE CEC significativa (p < 0,05)

#variación con respecto a 30' y 60' significativa (p < 0,05)

Tabla 3: Variables significativas determinantes de Pv-aCO2

Modelo	B	Error	Beta	T	Sig	Lim inf	Lim sup
Constante	-111,087	40,057		-2,773	,006	-190,358	-31,817
BE	-,297	,076	-,394	-3,935	,000	-,447	-,148
Hb	,502	,131	,296	3,842	,000	,243	,761
pH	15,775	5,475	,296	2,881	,005	4,940	26,610
SvO2	-,092	,030	-,261	-3,039	,003	-,151	-,032

Tabla 4: Variables significativas determinantes de Pv-aCO2/Ca-vO2

Modelo	B	Error	Beta	T	Sig	Lim inf	Lim sup
Constante	-44,628	13,850		-3,222	,002	-72,027	-17,229
BE	-,117	,027	-,470	-4,353	,000	-,170	-,064
pH	6,175	1,872	,356	3,299	,001	2,472	9,878

Figura 1: Correlación entre el flujo de la bomba de circulación extracorpórea y los índices Pv-aCO₂ y Pv-aCO₂/Ca-vO₂.

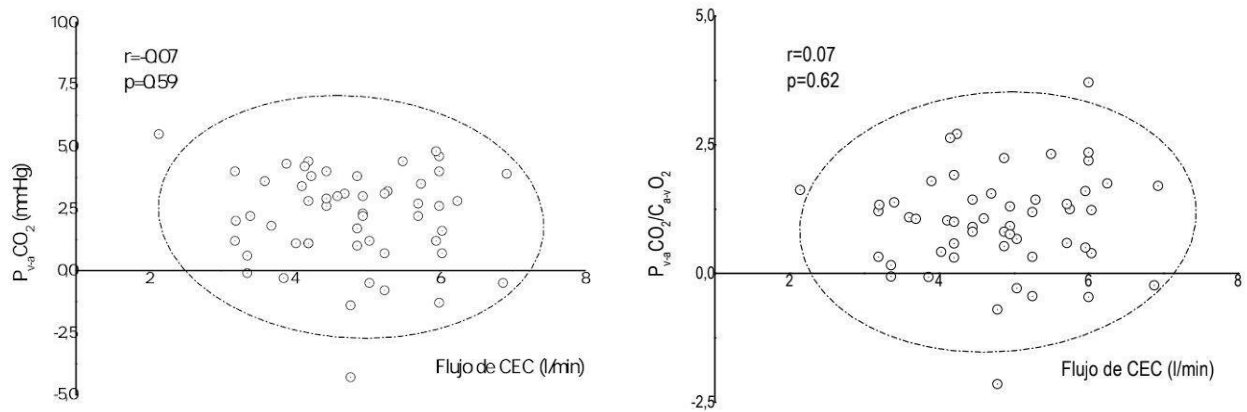


Figura 2: Correlación entre los índices Pv-aCO₂ y Pv-aCO₂/Ca-vO₂ con lactato y exceso de base

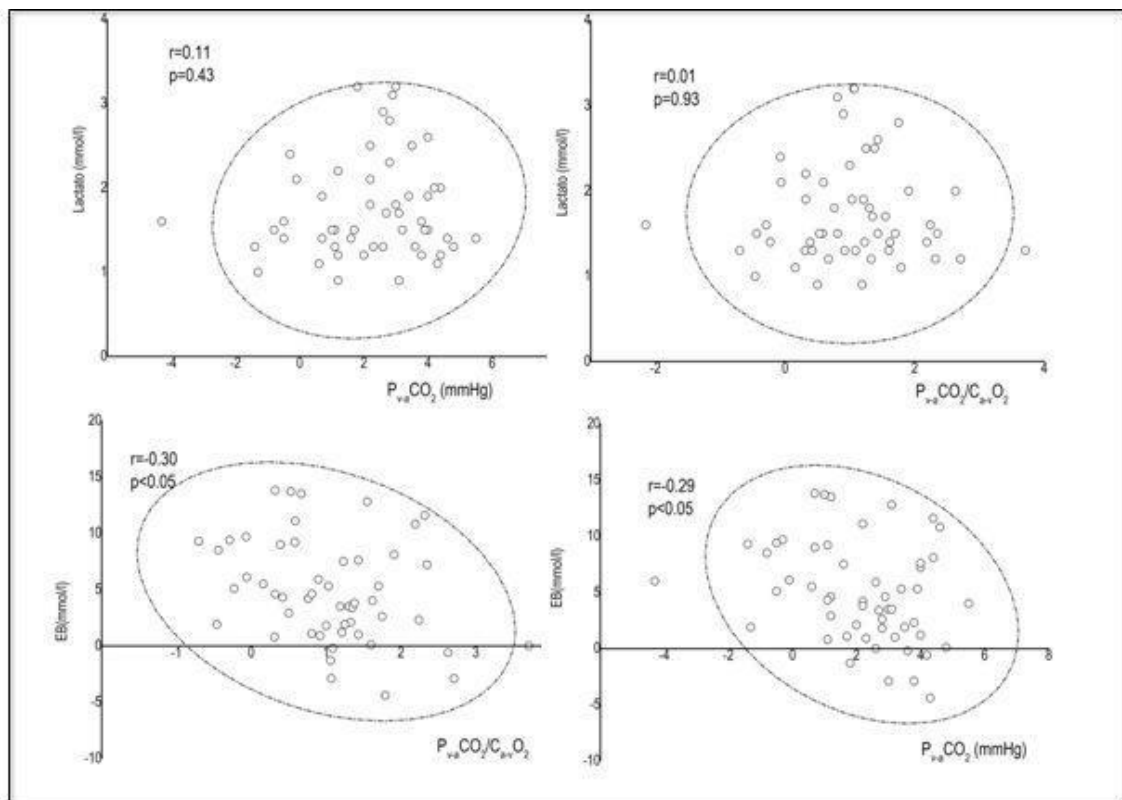
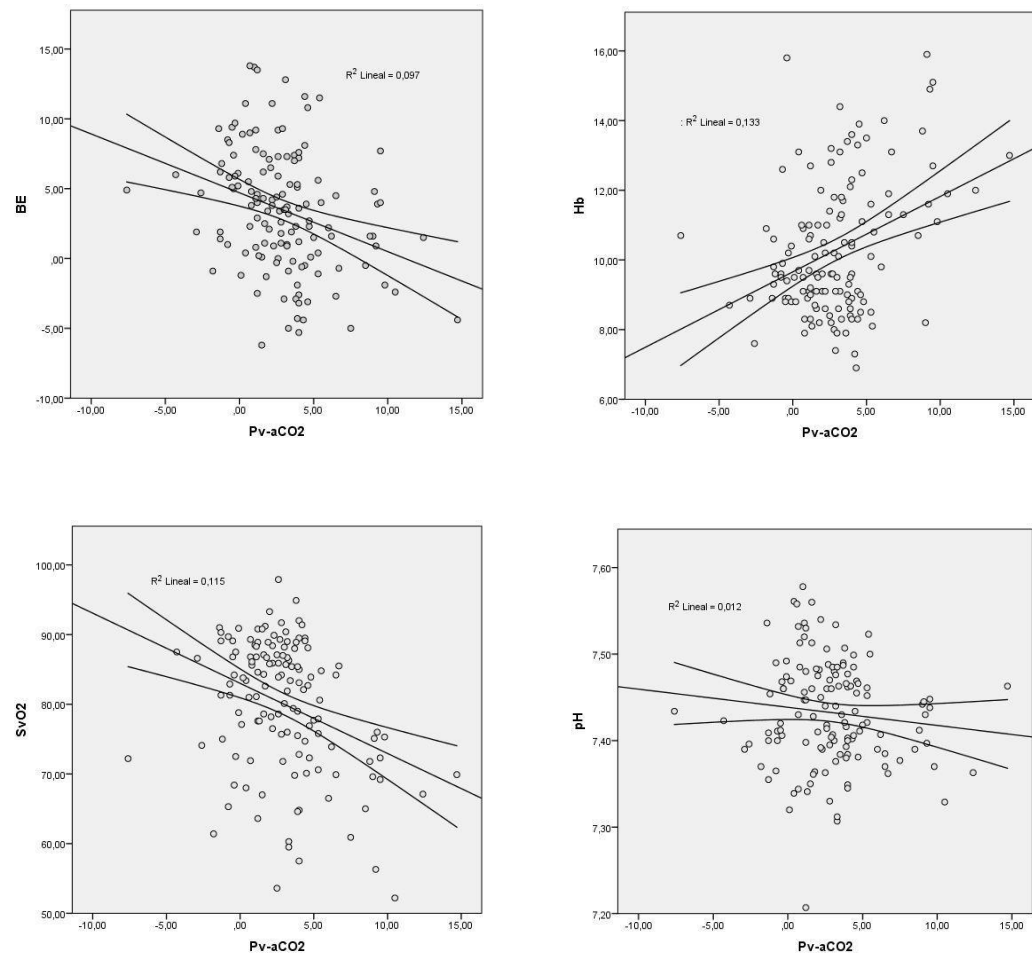


Figura 3: Regresiones



DISCUSIÓN

Nuestros hallazgos muestran que existe una pobre correlación entre la Pv-aCO₂ y el cociente Pv-aCO₂/Ca-vO₂ con el flujo determinado por la CEC, equivalente al flujo sistémico. Tampoco hay correlación con los parámetros de perfusión periférica utilizados habitualmente en la práctica clínica (lactato, SvO₂). Por lo que concluimos que la Pv-aCO₂ y el Pv-aCO₂/Ca-vO₂ no son buenos indicadores de perfusión periférica ni sistémica en el contexto de cirugía cardíaca con CEC(3).

Encontramos como posibles causas de esta falta de relación la presencia de diferentes factores que pueden influir en la pérdida de linealidad entre la presión parcial y el contenido de CO₂, a saber pH, BE, Hb y SvO₂.

En concordancia con los resultados obtenidos en esta investigación, Mallat J et al defienden la idea de que la Pv-aCO₂ debe ser considerado únicamente un indicador de la capacidad de retorno adecuado del flujo de sangre venosa para eliminar el exceso de CO₂, y no un marcador de hipoxia tisular (3).

En contraparte, según diversos autores (4, 5, 6) la Pv-aCO₂ representa la capacidad que tiene la sangre venosa de eliminar el CO₂ generado por los tejidos periféricos. Por lo tanto un aumento en su valor implica un desbalance entre gasto cardíaco y producción tisular de CO₂, lo cual significa que si el gasto cardíaco es normal, Pv-aCO₂ no se altera, dado que el flujo es suficiente para eliminar el exceso de este gas producido por los tejidos hipóxicos. Siguiendo con esta línea de pensamiento, es que Pv-aCO₂ había sido descrita como una herramienta rutinariamente disponible para detectar la hipoperfusión macro y microcirculatoria en pacientes sometidos a cirugía cardíaca. Tanto Lamsfus-Prieto como Denault registraron en sus investigaciones que valores mayores o iguales a 6mmHg de Pv-aCO₂ son los asociados a una disminución de la perfusión (1, 7).

Siguiendo los lineamientos anteriores y al contrario del estudio aquí presentado, Ranucci et al plantean en sus estudios que los parámetros derivados del CO₂ son más rápidos y sensibles para detectar el metabolismo anaeróbico que los derivados del oxígeno, por lo tanto, la evidencia no se limita únicamente al uso de la Pv-aCO₂ (5). Es así que surge el otro parámetro de estudio, el cociente Pv-aCO₂/Ca-vO₂; el mismo surge de la ecuación del cociente respiratorio (CR), el cual mide la relación entre la producción de CO₂ y el consumo de oxígeno, de forma que $CR = VCO_2 / VO_2$, y su valor normal oscila entre 0,8 y 1. Por su parte, Lamsfus-Prieto J.A et al observaron

en contexto de pacientes con shock séptico que un cociente respiratorio aumentado podría indicar anaerobiosis global (1).

En relación a lo anterior, Mukai et al y Moussa MD et al han estudiado y concluido que tanto la Pv-aCO₂ como Pv-aCO₂/Ca-vO₂ tienen mayor validez como predictores de morbilidad, siendo el primero el más indicado para esta relación, pero aún así con una capacidad predictiva limitada (8, 9).

Sin embargo, los supuestos expuestos por los autores antes mencionados no se cumplen en la presente investigación ya que según los resultados arrojados por la correlación lineal de Pearson, tanto entre la Pv-aCO₂ y el flujo de CEC como entre el cociente Pv-aCO₂/Ca-vO₂ y el flujo de CEC, existe una tendencia a la no dependencia; si bien no hubo significancia estadística que respalde estos resultados, la baja relación lineal obtenida para ambos casos podría deberse a la existencia de las variables explicativas pH, BE, Hb y SvO₂ que influyen en la interpretación de las variables de estudio, Pv-aCO₂ y Pv-aCO₂/Ca-vO₂. Precisamente, el modelo de regresión lineal múltiple otorgó evidencia estadísticamente significativa para demostrar la presencia de estas variables que afectan los valores de los parámetros derivados del CO₂, y por tanto, poner en duda su utilidad como marcadores de perfusión en situaciones donde estos factores se ven alterados (por ejemplo durante CEC).

Se interpreta de acuerdo a ello, que Pv-aCO₂ podrá verse aumentada si existen aumentos en los niveles de Hb y pH, y podrá descender al haber elevación de los valores de BE y SvO₂, todas ellas variables que sufren variaciones en el tiempo suscitadas por la propia circulación extracorpórea. De igual forma, el cociente Pv-aCO₂/Ca-vO₂ se verá incrementado ante aumentos en el pH, y disminuirá ante incrementos en el BE. De acuerdo a los coeficientes de determinación, el modelo que contiene el BE, el pH, la Hb y la SvO₂ explica un 28% de la variación de las mediciones observadas de Pv-aCO₂, lo cual implica una relación lineal leve entre las variables explicativas y el marcador de flujo sistémico. Por otra parte, solamente un 12% de la variabilidad entre los valores observados de Pv-aCO₂/Ca-vO₂ se explica por la relación lineal entre dicho cociente con el BE y el pH. La temperatura y la PAM no mostraron influencia significativa sobre Pv-aCO₂ y Pv-aCO₂/Ca-vO₂ en este estudio.

Diferentes autores coinciden con los hallazgos de esta investigación. En pacientes sometidos a CC la correlación entre Pv-aCO₂ y flujo fue muy pobre, al igual que con los marcadores de perfusión periférica utilizados habitualmente en la clínica, SvO₂, BE, pH y Hb (3, 10, 11, 12, 13). Tampoco se encontró asociación en aquellos casos donde se valoró los cambios de estos parámetros frente a intervenciones que modificaron significativamente el IC, DO₂ y/o el VO₂ (14).

Son varias las causas que pueden explicar esta falta de asociación, la mayoría de ellas explicables por la fisiopatología de la CC y dentro de ella la CEC (6). Esta última genera importantes alteraciones en la curva de disociación del CO₂ que persisten una vez finalizada. “En situaciones de hipoxia tisular aumenta la proporción de CO₂ transportado por Hb, en estas condiciones aumenta la afinidad de la Hb por el CO₂, lo que se denomina **efecto Haldane**” (3, 15). En este grupo de pacientes se presentó un descenso significativo de la Hb debido a la hemodilución realizada constantemente en estos procedimientos. Ha sido demostrado que durante la CEC la curva de disociación del CO₂ con la Hb se aplanan tanto en la sangre arterial como en la venosa, recuperándose parcialmente sólo en la sangre arterial, mientras que persiste en la venosa más allá de la CEC. Dado que esta última es el principal transportador del CO₂, se estima una reducción de su transporte en un 30%. La principal causa de esta alteración sería la hemodilución. Cavaliere F y de Sommer han demostrado en sus trabajos que el transporte de CO₂ durante la CEC se ve deteriorado, debido a la hemodilución que esta técnica produce, causando hipoperfusión sistémica (15, 16). Una vez corregida la Hb, no se observa una corrección en la curva de disociación, lo que fue interpretado por la presencia de otros cofactores, especialmente la disminución del pH que también está presente en nuestra población.

A diferencia de lo que ocurre en los pacientes sépticos, durante el perioperatorio de CC existen diferentes situaciones que afectan la producción y transporte del CO₂ y por tanto la relación PCO₂ y CCO₂ en el tiempo. En primer lugar, todos los pacientes que requirieron CEC se les realizó un enfriamiento leve (32-33°C aproximadamente) con posterior recalentamiento al finalizar la cirugía hasta alcanzar los 37°C. Los cambios bruscos de temperatura afectan el VO₂, la solubilidad y la producción de CO₂ varias horas después de finalizada la cirugía (25). En segundo lugar estos pacientes cambiaron su patrón hemodinámico presentando un **síndrome de bajas resistencias**. Este es frecuente en CC, autolimitado, vinculado a la respuesta inflamatoria provocada por el procedimiento quirúrgico que genera alteraciones de flujos regionales y por tanto del lavado de CO₂ de diferentes formas en la periferia. La utilización de drogas vasoactivas (que afectan directamente la VO₂ y la VCO₂) y la anestesia profunda pueden explicar el aumento de la extracción de oxígeno asociado a la disminución de la SvO₂. Por último, los cambios de la PaCO₂ pueden afectar la Pv-aCO₂.

Ha sido propuesto que la hipercapnia provoca un aumento de la Pv-aCO₂ a pesar de mantenerse estable el GC y la perfusión periférica (17). Una posible causa es que la vasoconstricción provoca mayor estancamiento del CO₂ en la periferia aumentando la Pv-aCO₂.

En el presente estudio, a la hora de observar los cambios en el tiempo de Pv-aCO₂, se evidenció un valor preCEC por encima de los rangos normales (4-6 mmHg) y luego disminuyó

significativamente. Dicha elevación basal podría ser explicada por el hecho de que si bien los pacientes incluidos en este estudio se encontraban estables al momento de la cirugía, sus distintas patologías cardiovasculares podrían haber determinado una inadecuación del flujo sistémico a sus necesidades. De esta manera, el hecho de que los valores hayan descendido durante y después de la CEC, podría hablar del efecto protector que tiene la misma en este tipo de pacientes. El Pv-aCO₂/Ca-vO₂ también mostró un descenso de sus valores durante el tiempo en CEC, probablemente debido al control hemodinámico constante que ofrece este sistema antifisiológico y que evita toda posible situación de anaerobiosis global; no obstante, tales variaciones en el tiempo no fueron estadísticamente significativas.

El presente trabajo contiene una serie de limitaciones, siendo la principal de ellas el tiempo disponible para la recolección de datos y el análisis de los mismos. A su vez, debido a la modalidad de los datos recabados, su recolección se vió supeditada a la coordinación de cirugías cardíacas del Hospital de Clínicas. Por lo tanto, la cantidad de pacientes incluidos en este estudio no alcanzó un número deseado, que se presume hubiese aportado mayor significancia a los resultados obtenidos. De todas formas, se han plantado las bases para continuar esta investigación y así poder incluir un número mayor de pacientes.

CONCLUSIÓN

Se concluye que la Pv-aCO₂ y el Pv-aCO₂/Ca-vO₂ no son buenos marcadores de perfusión sistémica y periférica en contexto de cirugía cardíaca con CEC, debido a la presencia de variables que interfieren en su interpretación, como son el pH, EB, Hb y SvO₂, que mostraron significancia estadística en esta investigación, entre otras que no lo hicieron pero se supone explicarían la variación de estos parámetros, siendo posibles marcadores a estudiar para lograr optimizar la hemodinamia del paciente sometido a este tipo de cirugía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lamsfus-Prieto JÁ, de Castro-Fernández R, Hernández-García AM, Marcano-Rodriguez G. Valor pronóstico de los parámetros gasométricos del dióxido de carbono en pacientes con sepsis. Una revisión bibliográfica. *Rev Esp Anesthesiol Reanim* [Internet]. 2016 Apr [cited 2019 Apr 28];63(4):220–30. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034935615002431>
2. Habicher M, von Heymann C, Spies CD, Wernecke K-D, Sander M. Central Venous-Arterial pCO₂ Difference Identifies Microcirculatory Hypoperfusion in Cardiac Surgical Patients With Normal Central Venous Oxygen Saturation: A Retrospective Analysis. *J Cardiothorac Vasc Anesth* [Internet]. 2015 Jun [cited 2019 Apr 28];29(3):646–55. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1053077014004285>
3. Mallat J, Lemyze M, Tronchon L, Vallet B, Thevenin D. Use of venous-to-arterial carbon dioxide tension difference to guide resuscitation therapy in septic shock. *World J Crit care Med* [Internet]. 2016 Feb 4 [cited 2019 Apr 28];5(1):47–56. Available from: <http://www.wjgnet.com/2220-3141/full/v5/i1/47.htm>
4. Rhodes LA, Erwin WC, Borasino S, Alten JA. After Cardiac Surgery in Infants and Neonates. 2018;18(3):228–33.
5. Ranucci M, Carboni G, Cotza M, de Somer F. Carbon dioxide production during cardiopulmonary bypass: pathophysiology, measure and clinical relevance. *Perfusion* [Internet]. 2017 Jan 18 [cited 2019 Apr 28];32(1):4–12. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27435871>
6. Huette P, Ellouze O, Abou-Arab O, Guinot P-G. Venous-to-arterial pCO₂ difference in high-risk surgical patients. *J Thorac Dis*. 2019;11(S11):S1551–7.
7. Denault A, Bélisle S, Babin D, Hardy J-F. Difficult separation from cardiopulmonary bypass and Δ PCO₂. *Can J Anesth Can d'anesthésie* [Internet]. 2001 Feb [cited 2019 Apr 28];48(2):196–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11220431>
8. Mukai A, Suehiro K, Kimura A, Funai Y, Matsuura T, Tanaka K, et al. Comparison of the venous-arterial CO₂ to arterial-venous O₂ content difference ratio with the venous-arterial CO₂ gradient for the predictability of adverse outcomes after cardiac surgery. *J Clin Monit Comput* [Internet]. 2019 Feb 22 [cited 2019 Apr 28]; Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s10877-019-00286-z>
9. Moussa MD, Durand A, Leroy G, Vincent L, Lamer A, Gantois G, et al. Central venous-to-arterial PCO₂ difference, arteriovenous oxygen content and outcome after adult cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. *Eur J Anaesthesiol* [Internet]. 2019 Apr [cited 2019 Apr 28];36(4):279–89. Available from: <http://insights.ovid.com/crossref?an=00003643-201904000-00007>

10. MECHER CE, RACKOW EC, ASTIZ ME, WEIL MAXH. Venous hypercarbia associated with severe sepsis and systemic hypoperfusion. *Crit Care Med* [Internet]. 1990;18(6). Available from: https://journals.lww.com/ccmjournal/Fulltext/1990/06000/Venous_hypercarbia_associated_with_severe_sepsis.1.aspx
11. Troskot R, Šimurina T, Žižak M, Majstorović K, Marinac I, Mrakovčić-Šutić I. Prognostic value of venoarterial carbon dioxide gradient in patients with severe sepsis and septic shock. *Croat Med J*. 2010;51(6):501–8.
12. van Beest PA, Lont MC, Holman ND, Loef B, Kuiper MA, Boerma EC. Central venous-arterial pCO₂ difference as a tool in resuscitation of septic patients. *Intensive Care Med* [Internet]. 2013 Jun;39(6):1034–9. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00134-013-2888-x>
13. Takami Y, Masumoto H. Mixed venous-arterial CO₂ tension gradient after cardiopulmonary bypass. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2005;13(3):255–60.
14. Pölönen P, Ruokonen E, Hippeläinen M, Pöyhönen M, Takala J. A prospective, randomized study of goal-oriented hemodynamic therapy in cardiac surgical patients. *Anesth Analg*. 2000;90(5):1052–9.
15. Cavaliere F. Impaired carbon dioxide transport during and after cardiopulmonary bypass. *Perfusion* [Internet]. 2000 Sep 30 [cited 2019 Apr 28];15(5):433–9. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/026765910001500505>.
16. De Somer F. What is optimal flow and how to validate this. *J Extra Corpor Technol* [Internet]. 2007 Dec [cited 2019 Apr 28];39(4):278–80. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18293819>
17. Akça O, Sessler DI, Delong D, Keijner R, Ganzel B, Doufas AG. Tissue oxygenation response to mild hypercapnia during cardiopulmonary bypass with constant pump output. *Br J Anaesth*. 2006;96(6):708–14.

ANEXOS

Tablas de recolección de datos generales.

PACIENTE N°	
SEXO	
EDAD	
PESO	
ALTURA	
SUP. CORP.	
TIPO DE CIRUGÍA	
BALON DE CONTR.	
EURO SCORE 2	
FEVI	
COMORBILIDADES	

	DROGAS
PRE CEC	
EN CEC	
POST CEC	

TCA	HORA

CP	HORA

TIEMPO CG	
TIEMPO CEC	
TIEMPO CLAMPEO	
INTENTOS DE SALIDA	

OBSERVACIONES

Tabla de recolección de datos- gasometrías.

	VARIABLES	PRE CEC		0'		30'		60'		POS CEC	
M O N I T O R E S	T ₁ (nf o esof.)										
	T ₂ (rectal)										
	T ₃ (sanguínea)										
	PAM										
	GC										
	FiO ₂										
	GASOMETRÍAS	ART	VEN	ART	VEN	ART	VEN	ART	VEN	ART	VEN
G A S E S	pH										
	pCO ₂										
	pO ₂										
O X I M E T R Í A	ctHb										
	sO ₂										
	FO ₂ Hb										
	FCO ₂ Hb										
	FHHb										
	FmetHb										
	FHHb										
E L E C T R O L I T O S	cK ⁺										
	cNa ⁺										
	cCa ²⁺										
	cCl ⁻										
	mOsmc										
M E T A B .	cGlu										
	cLac										
	Anion Gap _c										
C O R . T	pH (T)										
	pCO ₂ (T)										
	pO ₂ (T)										
O X .	ctO _{2c}										
	P50 _c										
Á - B	cBase(Ecf) _c										
	cHCO ₃ ⁻ (P,st) _c										

Consentimiento informado:

Lo/a invitamos a participar de la investigación científica “Análisis del Gap de CO2 en la circulación extracorpórea (CEC). Hospital de Clínicas 2019” realizada por estudiantes de sexto año de Medicina Brs. Latorre Rodrigo, Núñez Sofia, Ortiz Juliana, Pereira Agustín, Portela Nicolás, Sobrero Santiago, la misma tiene como tutores responsables a los docentes Prof. Dr. Riva Juan, Dr. Bouchacourt Juan Pablo, Dra. Illescas Laura, del servicio de anestesiología del Hospital de Clínicas.

Independientemente de la investigación, usted se someterá a una cirugía cardiaca la cual implica el uso de una máquina que le extrae sangre para luego devolverla con oxígeno a su cuerpo. En este proceso siempre se extraen muestras sanguíneas para evaluar su adaptación a la máquina. Se le solicita consentimiento para utilizar los datos provenientes de esas muestras, sin que esto implique en momento alguno la interferencia de los investigadores en la cirugía.

El beneficio de dicho estudio es poder utilizar nuevas medidas, a partir de las muestras, para ajustar la presión arterial en la máquina de CEC. Es libre de no aceptar, sin explicar la causa y esto no ocasionará ningún perjuicio patrimonial, moral ni física y tampoco afectará la atención médica que le corresponda recibir en un futuro. Por último, los datos utilizados serán confidenciales, en ningún momento se utilizará su nombre, solamente utilizaremos las muestras de sangre. El participante ni los investigadores recibirán una remuneración por dicho estudio..

He leído la información, comprendido, pude hacer preguntas por lo que expreso mi consentimiento a participar------(firma)

Teléfonos de contacto de los investigadores: Prof. Dr. Riva J: 099352870

Agdo. Dr Bouchacourt J. P: 099130768

Br. Juliana Ortiz: 098619269

Teléfono Cátedra de Anestesiología. Hospital de Clinicas. Secretaria: 24870907

Firmas de los investigadores

AGRADECIMIENTOS:

Perfusionistas: Cristina De La Torre.

Cecilia Rosso.

Flavia Garcia.

Lic. Enfermería Carina Lima.