

Evaluación del flujo sanguíneo durante circulación extracorpórea en pediatría.

Blood flow evaluation during cardiopulmonary bypass in pediatrics.

PCC. KAREN C. PERTRUZ OROZCO.

Fundación Hospital Cardiológico Infantil Latinoamericano "Dr. Gilberto Rodríguez Ochoa". Caracas, Venezuela.

RESUMEN

Introducción y Objetivos: La literatura ha evaluado la perfusión en pacientes adultos, existe poca evidencia en el campo de la perfusión pediátrica. En el presente estudio se evaluó el flujo sanguíneo durante la circulación extracorpórea en pacientes pediátricos.

Método: De 245 cirugías de cardiopatías congénitas con circulación extracorpórea, se analizaron los registros de perfusión de 111 pacientes y las gasometrías (arteriales y venosas) al inicio de la CEC. Se trabajó con estadística descriptiva y la *t* de Student. De 245 cirugías de cardiopatías congénitas con circulación extracorpórea, se analizaron los registros de perfusión de 111 pacientes y las gasometrías (arteriales y venosas) al inicio de la CEC. Se trabajó con estadística descriptiva y la *t* de Student.

Resultados: El índice cardiaco fue de $2,76 \pm 0,35$ l/min/m² y de 128 ± 26 cc/kg/min. La saturación venosa de oxígeno fue de 72 ± 10 %, la ETO₂ fue de $0,27 \pm 0,10$, el DO_{2i} de 379 ± 83 y el VO_{2i} de 116 ± 41 ml/min/m². El VO₂ estuvo entre el 27,5 y 27,8% de la DO₂. La relación entrega/consumo de oxígeno fue de 3,2:1. La ETO₂ > 0,30 se relacionó con un VO_{2i} > $151 \pm 37,41$ ml/min/m². El lactato inicial de circulación extracorpórea fue de $2,60 \pm 1,03$ y el de llegada a la Unidad de cuidados Intensivos fue de $3,03 \pm 1,72$ (mmol/l), la diferencia v-a del PCO₂ fue de $8,6 \pm 5,5$ mmHg. Ocho pacientes (7,2%) presentaron lactato > 4 mmol/l al inicio de la circulación extracorpórea y 28 pacientes (25%) lo tuvieron a la llegada a la UCI.

Conclusión: El flujo sanguíneo logra la meta establecida por protocolo. En presencia de índices > 2,4 l/min/m² se obtuvo una S_vO₂ < 70%. Al proporcionar un DO₂ bajo, se eleva el lactato. El consumo de oxígeno alto no reflejó un lactato elevado, pero sí una ETO₂ > 0,30. Se espera un valor de lactato entre 1 y 4 mmol/l al inicio de CEC. La hiperlactatemia a la llegada a UCI es predictor de complicaciones y muerte; sin relacionarse al flujo sanguíneo inicial en CEC. El gradiente veno-arterial de CO₂ > 6 mmHg no fue reflejo de un flujo sanguíneo bajo ni de lactato elevado.

Palabras Claves: Flujo Sanguíneo, Circulación Extracorpórea, Pediatría.

ABSTRACT

Introduction and Objective: The literature has evaluated perfusion in adult patients, but little evidence exists in pediatric perfusion. The present study evaluated blood flow during extracorporeal circulation in pediatric patients

Method: Of 245 congenital heart surgeries with extracorporeal circulation, perfusion records of 111 patients and blood gases (arterial and venous) at the beginning of cardiopulmonary bypass were analyzed. Descriptive statistics and Student t-tests were used.

Results: Cardiac index was 2.76 ± 0.35 l/min/m² and 128 ± 26 cc/kg/min. Venous oxygen saturation was 72 ± 10 %, ETO_2 was 0.27 ± 0.10 , DO_{2i} was 379 ± 83 and VO_{2i} was 116 ± 41 ml/min/m². VO_2 was between 27.5 and 27.8 % of DO_2 . The oxygen delivery/consumption ratio was 3.2:1. $ETO_2 > 0.30$ was related to a $VO_{2i} > 151 \pm 37.41$ ml/min/m². The initial extracorporeal circulation lactate was 2.60 ± 1.03 , and that on arrival to the Intensive Care Unit was 3.03 ± 1.72 (mmol/l), the v-a difference of PCO_2 was 8.6 ± 5.5 mmHg. Eight patients (7.2%) had lactate > 4 mmol/l at the beginning of extracorporeal circulation, and 28 patients (25%) had it at ICU arrival.

Conclusion: Blood flow achieves the goal established by protocol. With indices > 2.4 l/min/m², a $S_vO_2 < 70$ % was obtained. By providing a low DO_2 , lactate is elevated. High oxygen consumption did not reflect elevated lactate but did reflect an $ETO_2 > 0.30$. A lactate value between 1 and 4 mmol/l is expected at the onset of cardiopulmonary bypass. Hyperlactatemia at Intensive Care arrival is a predictor of complications and death unrelated to initial blood flow on cardiopulmonary bypass. The veno-arterial CO_2 gradient > 6 mmHg did not reflect low blood flow or elevated lactate.

Keywords: Blood flow, Extracorporeal Circulation, Pediatrics.

ABREVIATURAS

DO_2	Entrega de oxígeno	DO_{2i}	Entrega de oxígeno (indexada)
CEC	Circulación extracorpórea	VO_2	Consumo de oxígeno
VO_{2i}	Consumo de Oxígeno (indexado)	ETO_2	Índice de extracción de oxígeno
S_vO_2	Saturación venosa de oxígeno	IC	Índice cardíaco
Diferencia v-a PCO_2	Diferencia veno-arterial de la presión de dióxido de carbono	HL	Hiperlactatemia

INTRODUCCIÓN

Proporcionar una perfusión tisular adecuada e individualizada a cada paciente durante la Circulación Extracorpórea (CEC) evita la disfunción y la falla orgánica, las cuales son responsables de la mayoría de los resultados adversos en el posoperatorio.¹

La entrega de oxígeno indexada (DO_{2i} , corregida con la superficie corporal), es uno de los determinantes de una perfusión óptima durante la CEC. El valor de DO_{2i} mínimo y seguro durante la CEC se llama DO_{2i} crítico. Es el punto donde se alcanza el máximo índice de extracción de oxígeno y donde el consumo de oxígeno y la oxigenación tisular empiezan a disminuir, lo que da

lugar al metabolismo anaerobio y a la acidosis láctica.²

El DO_{2i} más bajo es el predictor más fuerte de lesión renal aguda relacionada a la cirugía cardíaca. Incluso más fuerte que el nivel más bajo de hemoglobina o que el flujo de perfusión bajo por sí solos. Esto fue explorado en cirugía cardíaca de adultos y se reconoció un valor de DO_{2i} mínimo de 280 ml/min/m² en hipotermia (32°C) como efectivo en la reducción de la lesión renal aguda estadio I, en el posoperatorio de pacientes adultos.³

La mayoría de los estudios sobre los umbrales del DO_{2i} en CEC están limitados a la población adulta. La literatura relacionada a pacientes pediátricos es escasa y el umbral del DO_{2i} crítico para pediatría no está universalmente aceptado aún, ni posee suficiente evidencia.

Dado que los infantes poseen una tasa metabólica y consumo de oxígeno elevados, requieren un flujo sanguíneo (3,2 l/min/m² vs 2,4 l/min/m²) y un hematocrito (Hct) mayor que los adultos. Por lo que el DO_{2i} crítico en niños no puede relacionarse al establecido para los adultos ya que causaría hipoperfusión severa e hipoxia.² Para pacientes neonatos, Bojan en su investigación clínica, concluyó que requieren como mínimo un aporte de O_2 de 340 ml/min/m² durante la normotermia para mantener el metabolismo en estado aerobio.⁴

La saturación venosa de oxígeno (SvO_2) refleja un equilibrio entre el aporte (DO_2) y el consumo de O_2 (VO_2). Su valor normal es de 75%. Normalmente el VO_2 es independiente del DO_2 , ya que se puede incrementar la extracción de oxígeno cuando la DO_2 disminuye. Cuando se llega a su límite inicia la disminución de la SvO_2 . Los valores de SvO_2 entre 55 y 70% indican que hay valor compensador, entre 50 y 30% ya no existe esta compensación e inicia la acidosis láctica.⁵

Aunque no existe un documento oficial sobre perfusión pediátrica, la Asociación Americana de Tecnología Extracorpórea (AmSECT) ofrece estándares y lineamientos sobre la conducción de la perfusión pediátrica que establecen su evaluación a través del equilibrio ácido-base, el nivel de anestesia, la presión arterial, el nivel de oximetría cerebral, el lactato, la entrega y el consumo de oxígeno, la presión parcial y la saturación arterial de oxígeno, la resistencia vascular sistémica y la temperatura. Además de, realizar de manera continua, o a intervalos regulares, el análisis de los gases sanguíneos y el hematocrito durante los procedimientos con CEC.⁶

El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar el flujo sanguíneo proporcionado a los pacientes pediátricos con cardiopatías congénitas, al inicio de la CEC, en el Hospital Cardiológico Infantil Latinoamericano “Dr. Gilberto Rodríguez Ochoa”, durante el periodo comprendido entre febrero y noviembre de 2021, para conocer si el mismo era suficiente o no al tratar de garantizar un aporte de oxígeno adecuado. Por otra parte esto permitiría obtener como beneficio indirecto maximizar la capacidad de análisis del perfusionista ante los datos obtenidos a través de la gasometría (arterial y venosa) y la integración a la rutina del cálculo y la evaluación de parámetros como: el ETO_2 , la DO_2 , VO_2 , la diferencia veno-arterial (v-a) de dióxido de carbono (CO_2) y su relación con el incremento de lactato durante la CEC, así como permitir el aporte de evidencia en el campo de la perfusión en cardiopatías congénitas en nuestro país.

METODOLOGÍA

La presente investigación se enmarca en el campo del diseño no experimental. De acuerdo a los datos aportados por el Área de Información en Salud de esta institución, la población constituida por pacientes intervenidos de cirugía cardiovascular fue de 238 pacientes, durante el periodo enero a diciembre del 2020. Sobre esta información, se calculó el tamaño de la muestra (para una población finita), con una confianza del 95% ($p=0,05$ y $q=0,5$) y un margen de error de $\pm 0,08$. La muestra seleccionada para esta

investigación fue de 111 pacientes, comprendida de los pacientes pediátricos intervenidos quirúrgicamente con apoyo de CEC que cumplieron con los criterios de inclusión establecidos (figura 1). El tipo de muestreo fue no probabilístico intencional, debido a que los elementos a analizar fueron escogidos en base a criterios de inclusión y exclusión ya preestablecidos.

Se utilizó la técnica de observación directa, simple o no participante. El instrumento empleado fue un formulario para el registro manual de los indicadores de perfusión (registro manual de la CEC), estructurado con 26 ítems. Se aplicaron las fórmulas establecidas para el cálculo de diferentes parámetros con los datos obtenidos de las gasometrías arteriales y venosas (tabla 7).

Se calcularon las estadísticas descriptivas tanto para las variables cualitativas como para las variables cuantitativas. En el caso de las variables cualitativas, se alcanzaron las frecuencias tanto absolutas como relativas (porcentajes) de las modalidades de cada variable, mientras que en las variables cuantitativas se calcularon los valores mínimos, máximos, los promedios y las desviaciones típicas de cada variable en estudio. Para la comparación de la variable cuantitativa (lactato), se realizó un contraste de hipótesis para la comparación entre medias (t de Student) con una confianza del 95%.

La base de datos se construyó sobre una hoja de cálculo Excel de Microsoft Office, versión 2016 y el cálculo estadístico se realizó en el paquete estadístico SPSS.IBM versión 24. Los resultados se presentan en tablas y gráficos de dispersión, donde la variable independiente fue el índice cardíaco al inicio de la CEC.

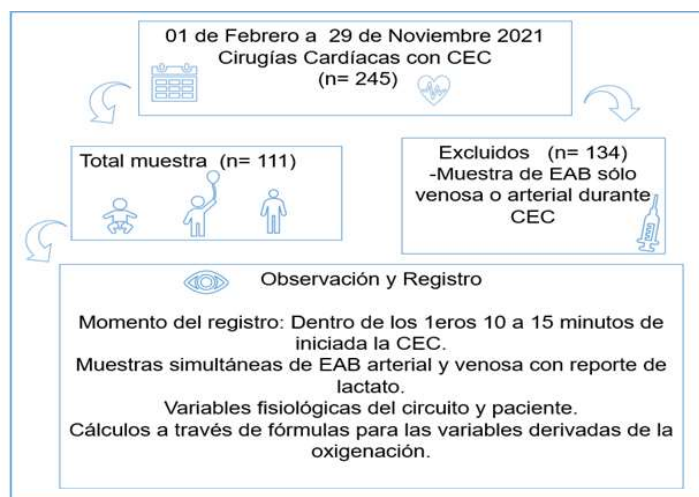


Figura 1. Algoritmo de la muestra.

TABLA 1. DISTRIBUCIÓN DE DATOS DEMOGRÁFICOS

Descriptivos		Min.	Máx.	\bar{X}	DT (\pm)
Edad (meses)	n=111	0,8	204	44,42	43,9
Peso (Kg)		3,2	61	14,09	9,9
Talla (cm)		50	184	93,13	9,9
ASC (m ²)		0,21	1,77	0,59	0,3

TABLA 2. DISTRIBUCIÓN POR TIPO DE CARDIOPATÍA CONGÉNITA Y SEXO.

Diagnóstico por Cardiopatía Congénita	n	%
Comunicación Interventricular	62	55,9
Comunicación Interauricular	21	13,5
Tetralogía de Fallot	15	18,9
Conexión Venosa Pulmonar Anómala Parcial	5	4,5
Canal Atrioventricular Completo	2	0,9
D-Transposición de Grandes Arterias	1	1,8
Conexión Venosa Pulmonar Anómala Total	1	0,9
Origen Anómalo de Coronaria Izquierda a Arteria Pulmonar	1	0,9
Membrana Sub Valvular Aórtica	1	0,9
Aurícula Única	1	0,9
Estenosis Valvular Pulmonar	1	0,9
Total	111	100
Sexo	n	%
Femenino	69	62,16
Masculino	42	37,84
Total	111	100

RESULTADOS

La muestra de este estudio correspondió a 111 pacientes pediátricos intervenidos para corrección de cardiopatías congénitas, comprendidas en su mayoría por defectos del septum

interauricular, interventricular y tetralogías de Fallot. Existió un predominio del sexo femenino (n=69) sobre el masculino (n=42) (tablas 1 y 2). La población fue poco homogénea, los rangos de edades estuvieron entre 0 y 18 años, con un peso entre los 3,2 y 61 kg. El tiempo de CEC (tiempo total de bomba) fue de 72,6 min (promedio) y el tiempo de pinzamiento aórtico (promedio) fue de 51 min.

El flujo sanguíneo proporcionado a los pacientes de alcanzó un promedio de IC de 2,76 l/min/m² y 128 ml/kg/min en el reporte de los primeros 15 min de CEC. La hemoglobina promedio fue de 9,7 g/dl (aunque hubo reportes de observaciones con hemoglobina <6 g/dl). La DO_{2i} fue de 379 ml/min/m² (promedio) y en el 66% de los pacientes fue mayor a 350 ml/min/m². El VO₂ fue de 116 ml/min/m² (promedio). Ambos indicadores fueron calculados a través de sus respectivas fórmulas y con los datos obtenidos de las muestras gasométricas (tabla 7). No se contó con estimaciones ni registros previos de la DO₂ o del VO₂ por lo cual no se dispone de un valor basal que permita realizar comparaciones con el período de CEC.

La saturación venosa de oxígeno fue de 72% (promedio) y el Índice de extracción fue de 0,27 (promedio). La muestra presentó reportes de saturaciones venosas muy bajas (valor más bajo reportado 43%) e índice de extracción elevado. La saturación arterial de oxígeno de la muestra en general fue óptima; sin embargo, la más baja reportada fue de 83% debido a la falla de uno de los dispositivos; el cual requirió cambio sin efectos deletéreos para paciente.

Con respecto a la diferencia v-a de CO₂, se obtuvo un valor promedio de 8,6 mmHg al inicio de CEC. La presión arterial media promedio de la muestra fue de 40 mmHg con un valor mínimo de 21 y máximo de 76 mmHg. La meta de temperatura para la mayoría de los pacientes en CEC fue de 34°C (por protocolo se realiza hipotermia leve como margen de seguridad ante eventos adversos), se logró un promedio de 34,6°C en la muestra.

El pH se mantuvo en promedio en 7,45 con un valor mínimo de 7,32. El gasto urinario fue en promedio de 2,27 \pm 2,56 ml/kg/h, lo cual es superior al gasto urinario mínimo esperado durante CEC (0,5-1 ml/kg/h)⁷, aunque hubo pacientes donde el gasto urinario fue igual a cero.

El lactato medido (tabla 3): previo a CEC, durante CEC y a la llegada a UCI presentó promedio de 1,05; 2,6 y 3,02 mmol/l respectivamente, sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre ellos (p=0,000). Para este trabajo de investigación se consideró hiperlactatemia (HL) cuando los

valores de lactato fueron > 4 mmol/l. Al inicio de la CEC ocho pacientes (7,2%) presentaron HL, y a la llegada a la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) fueron 28 (25,2%). Aunque el análisis de complicaciones y muerte no constituyó el eje central de esta investigación, hubo siete pacientes (6,3%) fallecidos por las siguientes causas: uno por choque hipovolémico, uno por bajo gasto, uno por choque séptico, uno por hipertensión pulmonar, uno por arritmia, uno por falla multiorgánica y uno por disfunción ventricular.

DISCUSIÓN

Los datos demográficos en esta muestra de pacientes pediátricos y los tipos de cardiopatía evidencian entre algunas características de importancia que la complejidad de la muestra en general es comparable a un RACHS 3 (por la presencia de ALCAPA y conexión venosa pulmonar). Inclusive aún cuando la frecuencia de cardiopatías estudiada estuvo comprendida mayormente por los defectos de tabique interauricular y ventricular y Tetralogía de Fallot. De igual manera, los tiempos totales de bomba y pinzamiento aórtico afirman que este es un centro especializado en cirugía de cardiopatías congénitas con experiencia en el manejo quirúrgico comparable a otros grupos de trabajo internacional.⁸

En un estudio, se determinó el valor umbral asociado al DO_{2i} durante la CEC en pacientes pediátricos, así como la relevancia clínica en el contexto de otros factores de riesgo independiente para el desarrollo de lesión renal posoperatoria. Se estableció que en los pacientes con y sin lesión renal (LR); una exposición a valores < 350 ml/min/m² de 20 minutos de duración vs 14 minutos, respectivamente, fue más relevante que el promedio de DO_{2i} manejado en cada grupo. Se reportó que el promedio de DO_{2i} (sin LR) fue de 392 ml/min/m² y de 403 ml/min/m² (con LR).⁹ En la presente muestra de pacientes pediátricos hubo ocho pacientes (7,2%) con HL, cuyo DO_{2i} fue de 341 ± 93,8 ml/min/m² frente a 420 ± 66,64 ml/min/m² correspondiente a los restantes 103 pacientes (92,8%) sin HL al inicio de la CEC. Un paciente (0,97%) de los que no desarrolló HL en CEC presentó disfunción renal en el posoperatorio, el reporte de DO_{2i} fue de 488 ml/min/m² y el de lactato de 1,30 mmol/l al inicio de CEC considerados como óptimos. La presencia de HL en los pacientes

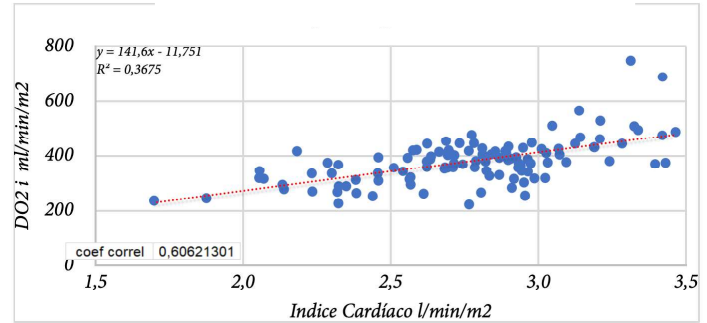


Gráfico 1: Índice Cardíaco y Entrega de Oxígeno al inicio de CEC

expuestos a un DO_{2i} de 341 ± 93,8 ml/min/m² confirma que un DO_{2i} bajo predice la elevación del lactato al inicio de CEC. Una de las limitantes presentadas fue el desconocimiento del tiempo de permanencia de cada paciente por debajo o por encima del valor de DO_{2i} que reportó la observación; así como los cambios que experimentó esta variable en función del tiempo en el transcurso de la CEC. La gráfica 1, muestra un patrón de correlación marcadamente positivo, en la que la nube de puntos se encuentra dentro del rango de IC entre 2,3 y 3,3 l/min/m² y en el rango de DO_{2i} entre 300 y 500 ml/min/m², distribuidos de manera cercana a ambos lados de la línea de tendencia. La línea de tendencia lineal tiene un trayecto de inclinación ascendente de izquierda a derecha. El coeficiente de determinación (R²=0,36) muestra un valor positivo, lo que demuestra que la variable DO_{2i} varía 36% en función de la variable IC. De manera similar, el coeficiente de correlación (r=0,60) indica que ambas variables presentan una correlación marcadamente positiva, es decir; el índice cardíaco (IC) tiene efecto sobre el DO_{2i} por lo que, al incrementar el IC, se aumenta la DO_{2i}.

En este trabajo de investigación no se realizó el cálculo de la estimación ni medición del VO_{2i} previo y posterior a la CEC, por lo que no se dispone de un valor de referencia para realizar comparaciones con el periodo inicial de CEC. Sin embargo, en las horas siguientes finalización de la CEC el incremento del VO₂ puede atribuirse a la necesidad de generar calor y a los efectos catabólicos de la fiebre e inflamación posterior a la hipotermia, afirmando también que la HL media presentada en este período es común, por lo que no refleja una complicación en el DO₂, VO₂ o en la recuperación de los pacientes.¹⁰

Al evaluar específicamente los ocho pacientes (7,2%) con HL al inicio de CEC, se determinó que el VO_{2i} en ellos fue de 94 ± 23,3 ml/min/m², mientras que para los otros 103 (92,79%), sin HL, fue de 117,79 ± 41,16 ml/min/m². Si tomamos en cuenta la correspondencia del 25% (VO₂ con respecto al DO₂) referida en condiciones fisiológicas normales, el VO₂ de los pacientes con HL correspondió al 27,5% de su DO₂, y en los pacientes sin HL

TABLA 3. VALOR DE LACTATO PRE, 10 MIN DE CEC Y LLEGADA A UCI					
Valor de lactato (n=111)	Valor "p"	Min.	Máx.	X	DT (±)
LACTATO PRE CEC	p=0	0,46	2,93	1,05	0,44
LACTATO inicial en CEC		0,9	6,94	2,6	1,03
LACTATO llegada UCI		0,83	10	3,03	1,72

TABLA 4. DISTRIBUCIÓN DE FLUJO SANGUÍNEO AL INICIO DE CEC

Descriptivos		Mín	Máx	□	DT (±)
Flujo S. calculado (l/min) a IC 2,5	n=111	0,53	4,41	1,49	0,71
Flujo S. en CEC (l/min)		0,46	4,65	1,64	0,78
IC (l/min/m ²) en CEC		1,7	3,46	2,76	0,35
Flujo S. x Peso corporal (cc/kg/min)		75	191,38	128,3	25,64

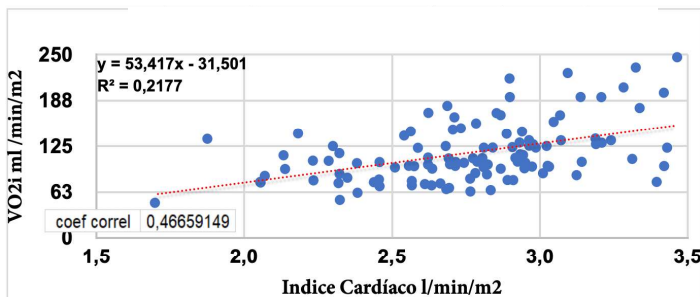


Gráfico 2: Índice Cardíaco y Consumo de Oxígeno al inicio de CEC.

correspondió al 28% de su DO_{2i} . Esto se interpreta como una correspondencia escasamente elevada del VO_2 con respecto a las condiciones consideradas normales (25% del DO_{2i})¹¹; pero similar entre ambos grupos de pacientes (con y sin HL). Si se tienen presentes las condiciones inherentes a la CEC: pacientes anestesiados, con bloqueo neuromuscular, con exclusión de los pulmones y corazón y adicional la respuesta inflamatoria que experimentan los pacientes en los que se utiliza CEC. En este estudio, un consumo de oxígeno elevado (al menos tomando en cuenta el valor promedio obtenido), no fue reflejo de HL. La gráfica 2, muestra un patrón de correlación moderadamente positivo, en la que la nube de puntos se encuentra dentro del rango de IC entre 2,3 y 3,1 l/min/m² y en rangos de VO_{2i} entre 50 y 150 ml/min/m². El coeficiente de determinación muestra un valor positivo ($R^2=0,21$), lo que demuestra que la variable VO_{2i} varía 21% en función de la variable del IC. De manera similar, el coeficiente de correlación ($r=0,46$) indica que ambas variables presentan correlación moderadamente positiva, es decir; el IC tendría efecto sobre el VO_{2i} .

En cirugía de adultos con CEC, hay factores potencialmente modificables asociados a HL e hiperglicemia como un $DO_{2i} < 270$ ml/min/m² con un $ETO_2 > 35\%$ e índice cardíaco $< 2,4$ l/min/m² con una $SVO_2 < 65\%$; asimismo, un $DO_{2i} > 290$ ml/min/m² con $ETO_2 < 25\%$ e IC $> 2,4$ l/min/m² con $SVO_2 > 75\%$ están asociados a una baja incidencia.¹² En esta investigación, no se evaluó la asociación de la hiperglicemia; sin embargo, se

TABLA 5. DISTRIBUCIÓN DE VARIABLES DE LA MUESTRA DE PACIENTES.

Descriptivos		Mín.	Máx.	□	DT (±)
PAM (mmHg)	n=111	21	76	40	8
HB (g/dl)		5,3	15,7	9,68	1,67
pH (arterial)		7,31	7,65	7,45	0,07
Temperatura (°C)		30,2	36,3	34,6	0,98
Gasto Urinario (ml/kg/hr)		0	18,8	2,27	2,56
$\Delta v-a$ PCO ₂ (mmHg)		0	33	8,61	5,49

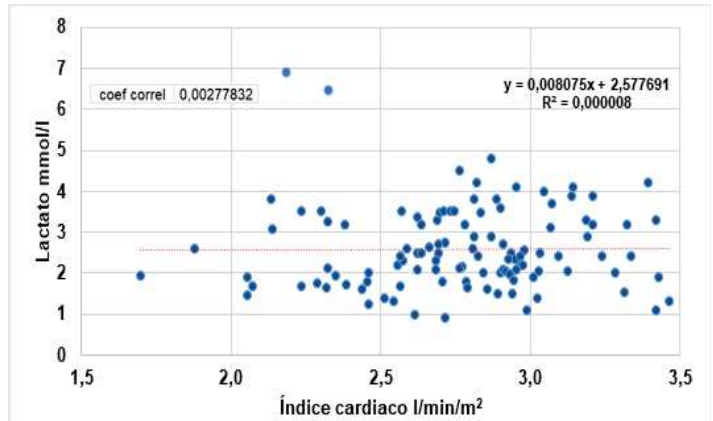


Gráfico 3: Índice Cardíaco y Lactato al inicio de CEC

tomó la combinación de esos indicadores con los siguientes puntos de referencia: $DO_{2i} < 350$ ml / min / m², IC $< 2,4$ l/min/m², $SvO_2 < 70\%$ y un $ETO_2 > 0,30$ para establecer si la presencia simultánea de ellos incidía en el desarrollo de HL al inicio de CEC. Se encontró que en los 111 pacientes, estos cuatro indicadores coincidieron de manera simultánea en cinco individuos (4,5%), de los cuales uno de ellos (20%) mostró un lactato elevado, frente a cuatro pacientes (80%) sin elevación del lactato. Por lo que; en este estudio, la combinación de esos cuatro indicadores no fue determinante para la presencia de lactato elevado, al menos al inicio de CEC. Con respecto al índice cardíaco y el valor de lactato inicial en CEC. En La gráfica 3, la mayoría de las observaciones se muestran dentro del rango de lactato entre 1 y 4 mmol/l y sólo ocho pacientes (7,2 %) tuvieron lactato > 4 mmol/l al inicio de CEC. De ellos, dos pacientes (25%) tuvieron registro de IC $< 2,4$ l/min/m²; mientras que los otros seis pacientes (75%) reportaron un IC $> 2,4$ l/min/m². La línea de tendencia (lineal) de este gráfico, aunque no atraviesa la mayoría de los puntos, posee un trayecto marcadamente horizontal, lo que bien se pudiera interpretar como un comportamiento constante de la variable dependiente (lactato inicial en CEC) con respecto a la variable independiente

TABLA 6. PROMEDIO DE INDICADORES EVALUADOS AL INICIO DE LAS PERFUSIONES EN EL HCIL (PERIODO FEB. A NOV. 2021):

TTB/TPAo (min)	DO ₂ i (ml/min/m ²)	VO ₂ i (ml/min/m ²)	DO ₂ :VO ₂	Lactato Inicial CEC (mmol/l)	Lactato Llegada UCI (mmol/l)	IC (l/min/m ²)	Flujo-peso (ml/kg/min)
72,6/51	379	116	3,2:1	2,6	3,03	2,76	128
Hg (g/dl)	SvO ₂ (%)	SaO ₂ (%)	ETO ₂	pH	PAM (mmHg)	Temp. (°C)	G.U. (ml/kg/hr)
9,7	72	99,8	0,27	7,42	40	34,6	2,27

Nota: Adicional a estos indicadores deberían incorporarse la evaluación de resistencias vasculares, nivel de anestesia, oximetría cerebral regional y monitoreo de gases en línea.

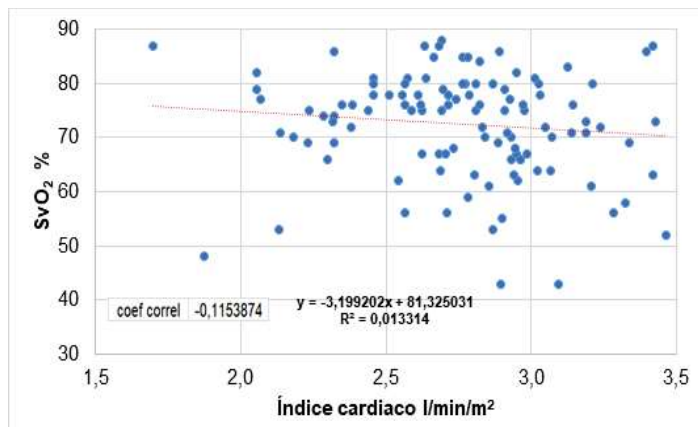


Gráfico 4: Índice cardíaco y SvO₂.

(IC). Por otra parte, el valor de R² (coeficiente de determinación) indica un valor escasamente positivo, lo que impresiona que la variable Y (lactato inicial en CEC) no presenta varianza con respecto a la variable X (IC). El coeficiente de correlación (r=0,002) cercano a 0 indica ausencia de relación entre estas dos variables.

Con respecto a la SvO₂, en 37 pacientes (33,3 %) se reportaron valores de SvO₂ < 70%; mientras que en 74 pacientes (66,6%) fue > 70%. De los que mostraron una SvO₂ < 70%, cinco (13,51 %) estuvieron expuestos a un IC menor a 2,4 l/min/m² y 32 (86,48 %) a un IC > 2,4 l/min/m². Con un valor de SvO₂ > 70%, se registraron 74 pacientes de los cuales, 14 (18,91%), estuvieron expuestos a un IC > 2,4 l / min / m² y 60 (81%) a un IC > 2,4 l/min/m². La SvO₂ baja estuvo presente aún con valores de IC > 2,4 l/min/m². En la gráfica 4, la línea de tendencia (lineal); aunque no atraviesa la mayoría de los puntos, posee un trayecto inclinado hacia abajo, de izquierda a derecha lo que pudiera interpretarse como un comportamiento negativo de la variable dependiente SvO₂ con respecto a la variable independiente IC. Por otra parte, el coeficiente de determinación (R²=0,013) indica un valor escasamente positivo, ajustándose muy poco la línea de tendencia a los datos. El coeficiente de correlación (r=-

TABLA 7. FÓRMULAS UTILIZADAS

$DO_{2i} = Q \times CaO_2 \times 10 / ASC$
$VO_{2i} = Q \times C(a-v) O_2 \times 10 / ASC$
$ETO_2 = (SaO_2 - SvcO_2) / SaO_2$

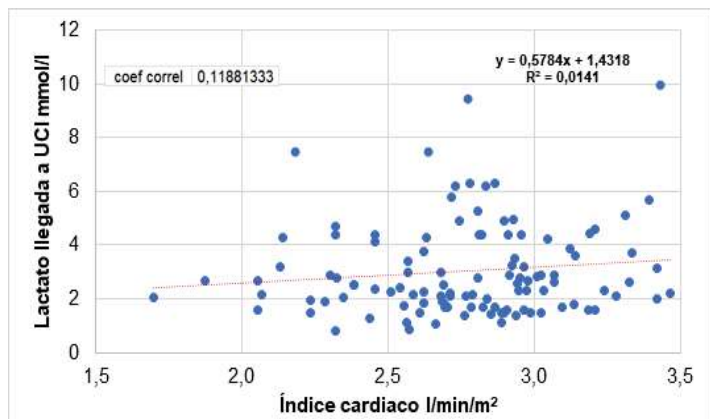


Gráfico 5: Índice cardíaco y lactato a la llegada a la UCI.

0,115) muestra una relación lineal débilmente negativa entre estas dos variables (direcciones opuestas).

Al analizar el ETO₂, este tuvo un promedio de 0,27 ± 0,1. Se apreció que el ETO₂ fue > 0,30 en 37 pacientes (33,3 %). De estos, 30 (81%) estuvieron relacionados a un VO₂i de 151,03 ± 37,41 ml/min/m² con presencia de dos registros (5,4%) de lactato > 4 mmol/l. De manera contraria, el ETO₂ fue < 0,30 en 74 pacientes (66,66%) cuyo VO₂i fue de 97,24 ± 24,79 ml/min/m², con presencia de 6 (8,1%) en los que el lactato fue > 4 mmol/l. Esto se interpreta como una elevación del ETO₂ en presencia de un alto consumo metabólico de oxígeno. El lactato no reflejó elevación > 4 mmol/l en presencia de un ETO₂ > 0,30 en nuestra investigación.

En la CEC de pacientes pediátricos con defectos interauriculares no complicados un flujo sanguíneo de 101 ± 33,3 cc/kg/min desarrolló HL en el posoperatorio, al compararse con el grupo que no desarrolló HL y cuyo flujo sanguíneo fue de 131 ± 38,2 cc/kg/min (p=0,001); lo que indica la existencia de una correlación significativa de la HL posoperatoria con el flujo sanguíneo durante CEC y; consecuentemente, con la DO₂. La regresión logística multivariada demuestra que el flujo indexado por peso

durante CEC fue un predictor independiente del valor elevado de lactato en el posoperatorio.¹³

El flujo sanguíneo (por peso), administrado durante el presente trabajo, al inicio de la CEC (Tabla 4) fue de $128 \pm 25,64$ ml/kg/min. Al evaluar a los 28 pacientes (25,2%) que presentaron lactato > 4 mmol/l a su llegada a UCI, el flujo promedio proporcionado fue de $125,68 \pm 26,72$ ml/kg/min y en los 83 pacientes restantes (74,77%) con lactato < 4 mmol/l fue de $129,18 \pm 25,37$ ml/kg/min. El promedio de flujo en ambos casos fue similar y a la vez fue superior al reportado por Abraham et al para el desarrollo de HL posoperatoria, por lo que la autora considera que la HL a la llegada a UCI en este estudio, no tuvo como factor determinante el flujo sanguíneo inicial de CEC. En la Gráfica 5, se observa un patrón de correlación débilmente positivo, en la que la nube de puntos se concentra dentro del rango de IC entre 2,1 a 3,5 l/min/m² y en el rango de 0,8 a 5 mmol/l, para el lactato en UCI. La nube de puntos se aprecia más homogénea hacia la porción inferior de la línea de tendencia con valores de lactato en UCI < 3 mmol/l y más dispersos hacia la porción superior con valores de lactato en UCI > 4 mmol/l. El coeficiente de determinación ($R^2=0,014$) muestra un valor escasamente positivo. De manera similar, el coeficiente de correlación ($r=0,11$) indica que ambas variables presentan una correlación débilmente positiva, es decir; el IC al inicio de la CEC tuvo escaso efecto sobre el valor de lactato al llegar a UCI.

La presión de perfusión en CEC (en neonatos) ha sido objeto de debate al no existir una presión de perfusión exacta y estandarizada; por la que individualizar la perfusión en cada paciente y evitar la exposición a períodos prolongados de presión arterial media (PAM) baja para la edad. Una presión de perfusión $>$ al 60% con respecto a la PAM estandarizada (por edad), puede ser una estrategia efectiva que minimice la disfunción renal y el incremento del lactato.¹⁴ El registro de observaciones de la PAM (tabla 5) entre los ocho pacientes (7,2%) con lactato > 4 mmol/l al inicio de CEC fue de $45,6 \pm 14,9$ mmHg y entre 103 pacientes (92,79%) con lactato < 4 mmol/l la PAM fue de $39,54 \pm 7,03$ mmHg. Se registró un paciente (0,97%) con disfunción renal en el posoperatorio, cuyo promedio de PAM fue de 40 mmHg y un lactato < 4 mmol/l al inicio de CEC.

Los niveles de hematocrito durante CEC se han incrementado con el paso del tiempo, en la década de los 80 se admitían valores $> 20\%$, $> 25\%$ al final de los 90 y entre 28% y 32% después del 2016.¹⁵ En esta institución, el hematocrito dilucional (con base en el protocolo) establecido como meta durante CEC oscila entre 30 y 33%. Este valor puede variar a niveles mayores en función

de la complejidad de la cardiopatía, durante el periodo de salida de CEC (empleando técnicas de ultrafiltración o transfusión sanguínea). En nuestro estudio en general se alcanzó un valor de hemoglobina de $9,68 \pm 1,67$ g/dl, lo que se corresponde con un hematocrito (promedio) de 29%. No se evaluó la frecuencia de las transfusiones sanguíneas.

En normotermia, es necesario mantener un flujo sanguíneo entre 2,8 y 3,5 l/min/m² durante toda la CEC y valores de hematocritos $>$ a 30% y hacia el final, cercanos al 40%. Esto provee la ventaja de conservar el flujo sanguíneo gastrointestinal y la perfusión esplácnica, lo que aumenta el aclaramiento de lactato, sin alterar la producción de factores de la coagulación como ocurre de forma transitoria con temperaturas más bajas.¹⁵

En la tabla 6, se presenta a manera de resumen el promedio de los valores de las diferentes variables evaluadas en nuestro estudio, las cuales la autora considera se encuentran dentro de lo esperado al momento de su medición.

CONCLUSIONES

El flujo sanguíneo proporcionado a los pacientes logra la meta inicial de cubrir el IC establecido al inicio de la CEC (entre 2,5 y 2,8 l/min/m²). El inicio de la CEC es considerado un periodo de "ajuste" que implica cambios dinámicos en el paciente relacionados a la volemia, la viscosidad sanguínea, las resistencias vasculares, las presiones en el circuito cardiopulmonar, el consumo metabólico, así como la respuesta hormonal y humoral, entre otras. La evaluación continua por parte del perfusionista en este periodo cursa con ajustes inmediatos y frecuentes del flujo sanguíneo extracorpóreo, en función de la hemodinamia del paciente y del circuito; así como del resultado gasométrico y ácido-básico y de los indicadores de perfusión y oxigenación. Proporcionar un DO_{2i} bajo al inicio de CEC, eleva el lactato, por lo que un valor alrededor de 420 ml/min/m², para pacientes pediátricos durante CEC, evitaría su elevación. El VO_2 entre los pacientes con y sin HL resultó similar y la relación entrega a consumo al inicio de la CEC se reportó disminuida (3,2: 1). El ETO_2 se eleva debido a un alto consumo metabólico de oxígeno y cuando este deja de ser un mecanismo compensatorio (el cual es finito), se inicia el metabolismo anaeróbico y se eleva el lactato. En esta investigación, el lactato no cursó con elevación en presencia de gradientes veno-arteriales de CO_2 elevados; y a su vez, estos no se elevaron en presencia de un flujo sanguíneo bajo al inicio de la CEC. Este indicador merece estudios más precisos para aplicarse durante la CEC; ya que se ha adoptado de la evaluación de la perfusión en pacientes críticos.

Al inicio de CEC se espera que los pacientes experimenten una elevación de lactato (la que se considera normal hasta los 4 mmol/l) y el flujo sanguíneo al inicio de CEC no estaría relacionado a su elevación. Los factores que pudieran elevar adicionalmente el valor del lactato (como transfusiones de concentrados globulares y/o la respuesta inflamatoria), no fueron estudiados en detalle en esta oportunidad. La HL a la llegada a UCI no tiene como factor determinante el flujo sanguíneo proporcionado al inicio de CEC (primeros 10 a 15 minutos); sin embargo, deben estudiarse las variaciones del flujo en el período completo de CEC. Se confirma, además, que el lactato elevado en UCI es un factor predictivo para complicaciones y muerte si no se logra disminuir su valor en las horas posteriores. En este estudio tomando en cuenta los diferentes indicadores evaluados se proporcionó un flujo considerado suficiente al inicio de la CEC. Reconocemos a su vez que el avance en la tecnología y el monitoreo especializado son aliados en los procesos de atención en salud; ya que proporcionan una actualización al personal que repercute de manera positiva en la seguridad y los estándares de calidad a nivel profesional e institucional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Joshi RK, Nair R, Koholi V, Joshi R. Assessment of Tissue Perfusion During Cardiopulmonary Bypass In Pediatric Cardiac Surgery. *Apollo Medicine* [Internet]. 2008 [cited: 10 oct 2022];5(1):35-38. Aviable from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0976001611601427>
- Zhang Y, Zhou X, Wang B, Guo L, Zhou R. Goal-directed perfusion to reduce acute kidney injury after paediatric cardiac surgery (GDP-AKIp): study protocol for a prospective randomised controlled trial. *BMJ Open* [Internet]. 2020 [cited: 10 oct 2022];10:e039385. Aviable from: <https://bmjopen.bmj.com/content/bmjopen/10/12/e039385.full.pdf>
- Ranucci M, Johnson I, Willcox T, Baker RA, Boer C, Baumann A, et al. Goal-directed perfusion to reduce acute kidney injury: A randomized trial. *J Thorac Cardiovasc Surg* [Internet]. 2018 [cited: 10 oct 2022];156(5):1918-1927.e2. Aviable from: [https://www.jtcvs.org/article/S0022-5223\(18\)31029-8/fulltext](https://www.jtcvs.org/article/S0022-5223(18)31029-8/fulltext)
- Bojan M, Gioia E, Di Corte F, Berkia I, Tourneur T, Tourneur L, et al. Lower limit of adequate oxygen delivery for the maintenance of aerobic metabolism during cardiopulmonary bypass in neonates. *Br J Anaesth* [Internet]. 2020 [cited: 10 oct 2022];S0007-0912(19)31024-4. Aviable from: [https://www.bjanaesthesia.org/article/S0007-0912\(19\)31024-4/fulltext](https://www.bjanaesthesia.org/article/S0007-0912(19)31024-4/fulltext)
- Portela-Ortíz, JM. Aplicaciones clínicas de la saturación venosa mixta y central. *Revista Mexicana de Anestesiología* [Internet]. 2007 [citado: 10 oct 2022];30. Supl.1:S355-S356. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/rma/cma-2007/cmas071bm.pdf>
- Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, Klein T. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice (2019). *World J Pediatr Congenit Heart Surg* [Internet]. 2021 [cited: 10 oct 2022];12(1):84-92. Aviable from: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2150135120956938>
- Gravlee, G. P. *Cardiopulmonary bypass Principles and Practice*. Third edition. Philadelphia, PA. Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins;2008.
- Alves RL, Aragão e Silva AL, Kraychete NC, Campos GO, Martins Mde J, Módolo NS. Intraoperative lactate levels and postoperative complications of pediatric cardiac surgery. *Paediatr Anaesth* [Internet]. 2012 [cited: 10 oct 2022];22(8):812-7. Aviable from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1460-9592.2012.03823.x>
- Hayward A, Robertson A, Thiruchelvam T, Broadhead M, Tsang VT, Sebire NJ, et al. Oxygen delivery in pediatric cardiac surgery and its association with acute kidney injury using machine learning. *Thorac Cardiovasc Surg* [Internet]. 2022 [cited: 10 oct 2022];165(4):P1505-16. Aviable from: [https://www.jtcvs.org/article/S0022-5223\(22\)00642-0/fulltext](https://www.jtcvs.org/article/S0022-5223(22)00642-0/fulltext)
- Li J, Schulze-Neick I, Lincoln C, Shore D, Scallan M, Bush A, et al. Oxygen consumption after cardiopulmonary bypass surgery in children: determinants and implications. *J Thorac Cardiovasc Surg* [Internet]. 2000 [cited: 10 oct 2022];119(3):525-33. Aviable from: [https://www.jtcvs.org/article/S0022-5223\(00\)70132-2/fulltext](https://www.jtcvs.org/article/S0022-5223(00)70132-2/fulltext)
- Ranucci M, Igrò G, Romitti F, Mele S, Biagioli B, Giomarelli P. Anaerobic metabolism during cardiopulmonary bypass: predictive value of carbon dioxide derived parameters. *Ann Thorac Surg* [Internet]. 2006 [cited: 10 oct 2022];81(6):2189-95. Aviable from: [https://www.annalsthoracicsurgery.org/article/S0003-4975\(06\)00033-6/fulltext](https://www.annalsthoracicsurgery.org/article/S0003-4975(06)00033-6/fulltext)
- Condello I, Santarpino G, Nasso G, Moscarelli M, Fiore F, Speziale G. Associations between oxygen delivery and cardiac index with hyperlactatemia during cardiopulmonary bypass. *JTCVS Tech* [Internet]. 2020 [cited: 10 oct 2022];2:92-9. Aviable from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666250720301899>
- Abraham BP, Prodhan P, Jaquiss RD, Bhutta AT, Gossett JM, Imamura M, et al. Cardiopulmonary bypass flow rate: a risk factor for hyperlactatemia after surgical repair of secundum atrial septal defect in children. *J Thorac Cardiovasc Surg* [Internet]. 2010 [cited: 10 oct 2022];139(1):170-3. Aviable from: [https://www.jtcvs.org/article/S0022-5223\(09\)01014-9/fulltext](https://www.jtcvs.org/article/S0022-5223(09)01014-9/fulltext)
- Saleem Y, Darbari A, Sharma R, Vashisth A, Gujpta A. Recent advancements in pediatric cardiopulmonary bypass technology for better outcomes of pediatric cardiac surgery. *The Cardiothoracic Surgeon* [Internet]. 2022 [cited: 10 oct 2022];30:1-10. Aviable from: <https://cts.springeropen.com/articles/10.1186/s43057-022-00084-5>
- Marcano L., Romero A., Serrano G., Sánchez N. Cirugía cardiovascular pediátrica en normotermia durante la circulación extracorpórea. *Revista Electrónica de las Ciencias Médicas en Cienfuegos Medisur* [Internet]. 2012 [citado: 10 oct 2022];10(1):47-54. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/262623599_Normotermia_durante_la_circulacion_extracorporea_en_cirurgia_cardiovascular_pediatria

Fecha de recepción: 14 de octubre de 2023.

Fecha de aceptación: 24 de octubre de 2023.