

# Relación entre el aporte de oxígeno y la incidencia de insuficiencia renal aguda en pacientes adultos sometidos a cirugía cardíaca con circulación extracorpórea.

*Relationship between oxygen supply and the incidence of acute renal failure in adult patients undergoing cardiac surgery with extracorporeal circulation.*

**GAMALIEL RODRIGUEZ ACOSTA**

Mayaguez Medical Center, Mayaguez, Puerto Rico

## RESUMEN

**Introducción:** La circulación extracorpórea puede conducir a una serie de alteraciones la cual puede conllevar a morbilidades serias para el paciente. Una de las complicaciones que más preocupan en la cirugía cardíaca es la insuficiencia renal aguda. El aporte de oxígeno ( $DO_2$ ) es un parámetro determinante para que se produzca o no la insuficiencia renal aguda.

**Objetivos:** Determinar la relación entre el aporte de oxígeno y la insuficiencia renal aguda en pacientes adultos sometidos a circulación extracorpórea durante la cirugía cardíaca en el periodo de mayo 2022 – abril 2023 en Mayagüez Medical Center, Mayagüez, Puerto Rico. Relacionar las variables: edad, sexo, niveles de creatinina, presión arterial y diuresis en circulación extracorpórea, hipertensión, diabetes, tiempo de ventilación mecánica, tiempo de circulación extracorpórea y de pinzamiento aórtico con la incidencia de insuficiencia renal aguda.

**Método:** Se realizó un estudio observacional descriptivo de cohorte retrospectivo de los pacientes intervenidos de cirugía cardíaca con el uso de circulación extracorpórea en Mayagüez Medical Center, en el periodo comprendido entre mayo 2022 y abril 2023. Se determinó el  $DO_2$  de cada paciente y se categorizaron en dos grupos: pacientes adultos cuyo  $DO_2$  durante la CEC fue  $\geq 272$  ml/min/m<sup>2</sup>, identificados como grupo 1 y pacientes adultos cuyo  $DO_2$  durante la CEC fue  $< 272$  ml/min/m<sup>2</sup>, identificados como grupo 2. Se evaluó el comportamiento de la creatinina a las primeras 24 horas del posoperatorio en ambos grupos y se relacionó con las diferentes variables y con la incidencia de insuficiencia renal aguda mediante el uso de la correlación de Pearson.

**Resultados:** De 127 pacientes estudiados 42 pacientes pertenecieron al Grupo 1 (33%) y 85 pacientes pertenecieron al Grupo 2 (67%). De estos, 5 pacientes (12%) del Grupo 1 y 17 pacientes (20%) del Grupo 2 desarrollaron insuficiencia renal aguda. Luego de realizar un análisis de subgrupo, solo con los pacientes que desarrollaron insuficiencia renal aguda, se obtuvo más resultados estadísticamente significativos entre las diferentes variables estudiadas.

**Conclusión:** Según los resultados obtenidos en este estudio existe una correlación significativa de desarrollo de insuficiencia renal aguda con el mantenimiento de una entrega de oxígeno menor a 272 ml/min/m<sup>2</sup>.

**Palabras Claves:** Cirugía cardiovascular, circulación extracorpórea, insuficiencia renal aguda, entrega de oxígeno, hemoglobina, flujo de bomba, creatinina.

## ABSTRACT

**Introduction:** Extracorporeal circulation can lead to a series of alterations, which can lead to serious morbidities for the patient. One of the most worrying complications in cardiac surgery is acute kidney injury. The oxygen supply ( $DO_2$ ) is a determining parameter for whether acute kidney injury occurs or not.

**Objective:** To determine the relationship between oxygen delivery and acute renal failure in adult patients undergoing extracorporeal circulation for cardiac surgery during the period comprehended between May 2022 and April 2023 at Mayagüez Medical Center, Mayagüez, Puerto Rico. To relate the variables: age, sex, creatinine levels, blood pressure, urine output in extracorporeal circulation, hypertension, diabetes, mechanical ventilation time, extracorporeal circulation time, aortic cross clamping time with the incidence of acute kidney injury.

**Method:** A retrospective descriptive observational cohort study was carried out on adult patients who underwent cardiac surgery with extracorporeal circulation at Mayagüez Medical Center in the period between May 2022 and April 2023. The  $DO_2$  of each patient was determined, and they were categorized into two groups: adult patients whose  $DO_2$  during extracorporeal circulation was  $\geq 272$  ml/min/m<sup>2</sup>, identified as Group 1, and adult patients whose  $DO_2$  during extracorporeal circulation was  $< 272$  ml/min/m<sup>2</sup>, identified as Group 2. The behavior of creatinine was evaluated in the first 24 hours in both groups, and the different variables were related to the incidence of acute kidney injury using Pearson's correlation.

**Results:** Of 127 patients studied, 42 patients belonged to Group 1 (33%), and 85 patients belonged to Group 2 (67%), of which 5 patients (12%) in Group 1 developed acute kidney injury and 17 patients (20%) in the Group 2.

After performing a subgroup analysis only with the patients who had acute kidney injury, more statistically significant results were obtained among the different variables studied.

**Conclusion:** According to the results obtained in this study, there is a significant correlation of the development of acute renal failure with the maintenance of oxygen delivery less than 272 ml/min/m<sup>2</sup> flow or elevated lactate.

**Keywords:** Cardiovascular surgery, Extracorporeal Circulation, Acute renal failure, Oxygen supply, Hemoglobin, Pump flow, Creatinine.

## INTRODUCCIÓN

La cirugía cardíaca lleva ya muchos años recorridos. Con el advenimiento de la circulación extracorpórea (CEC) se lograron muchos avances lo que facilitó la corrección de múltiples cardiopatías y permitió que muchas otras, que en cierto momento se consideraban imposibles de intervenir, se corrigieran.<sup>1</sup>

Una de las complicaciones que más preocupa en la cirugía cardíaca es la insuficiencia renal aguda (IRA) por ser una de las causas principales de morbi-mortalidad. Según las últimas revisiones sistemáticas, la incidencia de IRA es de aproximadamente el 22%, de las cuales de 2%-3% necesitan algún tipo de hemodiálisis o hasta trasplante renal.<sup>2</sup> No obstante, otras fuentes expanden el rango de incidencia de IRA del 18,2%

al 30% de los pacientes que se someten a una cirugía con CEC.<sup>3</sup> La IRA relacionada a la CEC se asoció con un aumento de 8,2 veces en la mortalidad hospitalaria.<sup>4</sup>

La IRA es un síndrome clínico que de forma brusca (horas o días) altera la homeostasis del organismo. Una multitud de causas provocan la disminución en la capacidad de filtrado glomerular que poseen los riñones para la eliminación de los productos nitrogenados de desecho (lo que provoca la elevación de la urea y de la creatinina en la sangre) y alterar además el equilibrio hidroelectrico. Con frecuencia se manifiesta con una diuresis insuficiente.

Se han identificado varios factores de riesgo para predecir el desarrollo de esta patología asociada a CEC. Los factores de

riesgo se clasifican como factores relacionados con el paciente y relacionados con el procedimiento. Una comprensión integral de estos factores y de la IRA, debería contribuir aún más a nuestra capacidad para controlar la IRA asociada a la CEC.<sup>5</sup> Dentro de los factores relacionados con el paciente se encuentran los siguientes: la edad, el sexo, el tabaquismo, los niveles de creatinina o la condición renal previa, la fracción de eyección y los valores de hemoglobina preoperatoria entre otros.

Una edad avanzada es un factor de riesgo independiente para desarrollar IRA. Por ejemplo, una edad > 70 años conlleva un riesgo relativo que oscila entre 2 y 2,232 intervalo de confianza [(IC) del 95%, 1,326-3,757; p < 0,005].<sup>6,7</sup> El sexo femenino es otro factor de riesgo independiente. La mayoría de los metaanálisis han revelado que las mujeres tienen más probabilidades que los hombres de desarrollar IRA después de la operación [odds ratio (OR), 1,21; IC 95%, 1,09-1,33; p < 0,001]. Otro factor es el tabaquismo (OR, 2,008; IC 95%, 1,144-3,524; p = 0,0151). Se demostró que una fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) < 35 por ciento es otro factor de riesgo (OR, 1,25; IC del 95 %, 1,01-2,2; p = 0,01). Además, los ensayos clínicos controlados revelaron un alto riesgo de desarrollar IRA en niños con cardiopatías congénitas, con incidencias notificadas que oscilan entre el 29% y el 86%.<sup>3</sup> El factor predictivo de riesgo más importante, descrito hasta la fecha, para la IRA posoperatoria es la presencia de un nivel preoperatorio elevado de creatinina en el suero (sCr).<sup>8</sup> Este hecho también lo corrobora la asociación de los niveles pico más altos de creatinina posoperatoria, dentro de las 48 horas posteriores a la llegada a la unidad de cuidados intensivos (UCI), con la presencia de IRA persistente. El riesgo de IRA aumenta 4,8 veces por cada aumento de 1 mg/dl en el nivel de sCr. El riesgo de diálisis posoperatoria para el paciente después de una IRA alcanza el 10%-20%, con una concentración de creatinina basal de 2,0-4,0 mg/dl y aproximadamente el 25% cuando la concentración de creatinina basal es superior a 4,0 mg/dl.

En conjunto, estos datos indican la importancia de monitorear y enfocarse en niveles aumentados de sCr a lo largo del período perioperatorio.<sup>3</sup> La creatinina se produce de forma endógena a partir de la creatina y la creatina fosfato como resultado de los procesos metabólicos musculares.<sup>9</sup> Esta se elimina por el riñón mediante filtración glomerular. La determinación de la sCr sirve para el diagnóstico y el control de las enfermedades renales agudas y crónicas, así como para la estimación del filtrado glomerular.<sup>10</sup> Su utilidad proviene de una tasa de secreción relativamente constante a través de la filtración

glomerular, mientras que, por otro lado, no se reabsorbe nada. La creatinina normalmente entra en el torrente sanguíneo y se filtra desde este a un ritmo, por lo general, constante. La cantidad de creatinina en sangre debe ser relativamente estable. El filtrado glomerular disminuye con la edad a partir de los 40 años, aproximadamente, a una velocidad de 0,75 ml/min/año.<sup>11</sup> Un resultado normal es de 0,7 mg/dl a 1,3 mg/dl (de 61,9 μmol/l a 114,9 μmol/l) para los hombres y de 0,6 mg/dl a 1,1 mg/dl (de 53 μmol/l a 97,2 μmol/l) para las mujeres. Las mujeres con frecuencia tienen niveles de creatinina más bajos que los hombres. Esto se debe a que ellas frecuentemente tienen menor masa muscular. El nivel de creatinina varía en función de la talla y la masa muscular de una persona.<sup>12</sup> Otro factor de riesgo relacionado con el paciente es un nivel bajo de hemoglobina en el preoperatorio, ya que, esta disminuye aún más con la hemodilución resultante de la CEC, lo que la hace también un factor de riesgo relacionado al procedimiento. Según la evidencia acumulada, la concentración de hemoglobina, medida durante la cirugía con CEC, está asociada con la incidencia de IRA después de esta. Según un estudio de Mark J. Koury, una concentración de hemoglobina disminuida, durante la cirugía con CEC, es un factor de riesgo independiente para IRA, con un valor de corte del efecto <9 g/dl (<5,6 mmol/l) (OR, 1,16 por disminución de 1 g/dl; IC del 95%, 1,05-1,31; p=0,018), que no se ve alterado por los valores de saturación y presión de oxígeno arterial sistémico.<sup>13,14</sup> Se recomiendan las estrategias que mejoren la concentración de hemoglobina, sin que se requiera la transfusión de concentrados globulares, ya que, es probable que la nefrotoxicidad mediada por hierro libre circulante (secundario a hemólisis y hemoglobina libre) provoque IRA en los pacientes sometidos a cirugía cardíaca con CEC.<sup>15</sup> Por lo que el volumen de glóbulos rojos transfundidos representa un factor de riesgo adicional específico, si este tratamiento se administra a pacientes con niveles de hemoglobina > 8 g/dl (> 5 mmol/l). Otro de los factores de riesgo es la existencia de un alto grado de hemodilución durante la CEC; sin embargo, sus efectos perjudiciales pueden reducirse aumentando la entrega de oxígeno mediante el aumento del flujo de bomba.<sup>16,17</sup>

Para clasificar la insuficiencia renal aguda se utilizan los criterios KDIGO (Kidney Disease Improving Global Outcomes). Estos clasifican la presencia de la insuficiencia renal aguda a partir de un aumento agudo de la creatinina sérica, teniendo en cuenta pequeños aumentos en la creatinina (al menos 0,3 mg/dl) o un período de oliguria.<sup>13,18-21</sup> En lo que respecta al tiempo, el Acute Dialysis Quality Initiative Group aclaró recientemente que la IRA ocurre dentro de 48 horas o menos, y la “enfermedad renal

aguda” ocurre cuando la lesión renal aguda persiste durante 7 días o más. Con el advenimiento del concepto “Perfusión guiada por objetivos (GDP, por sus siglas en inglés), el interés por este modelo de perfusión, basado en la monitorización en línea de nuevos parámetros, va en aumento. El  $DO_2$  es un parámetro clave y de los más estudiados. Este concepto fue descrito por primera vez por Philip de Somer, quien lideró un ensayo multicéntrico basado en el hallazgo de Ranucci.<sup>22</sup> En la GDP, tomamos los términos convencionales de perfusión óptima y agregamos conceptos de respiración celular tales como: el aporte de oxígeno indexado ( $DO_{2i}$ ), el consumo de oxígeno indexado ( $VO_{2i}$ ), la producción de dióxido de carbono indexada ( $VCO_{2i}$ ) y la tasa de extracción de oxígeno ( $ERO_2$ ), con el objetivo de alcanzar una perfusión más fisiológica. Se ha intentado determinar cuál es el valor crítico de  $DO_{2i}$  encontrando valores como los de Ranucci ( $DO_{2i} > 272$  ml/min/m<sup>2</sup>), los de De Somer ( $DO_{2i} > 262$  ml/min/m<sup>2</sup>) y los de Magruder ( $DO_{2i} > 300$  ml/min/m<sup>2</sup>).<sup>22</sup> Este es el volumen de oxígeno aportado a los tejidos por unidad de tiempo. Se expresa en ml/min y frecuentemente se corrige por masa corporal (ml/kg/min) o por el área de superficie corporal (ml/min/m<sup>2</sup>). El  $DO_2$  es el producto del gasto cardiaco (GC) y el contenido arterial de oxígeno ( $CaO_2$ ) que se expresa con la siguiente fórmula:  $DO_2 = GC \times CaO_2 \times 10$ . El estudio GIFT (Goal Directed Perfusion Trial), dirigido por Ranucci, cuyo objetivo fue la tasa postoperatoria de IRA basada en la clasificación AKIN, concluye que el uso de la GDP para mantener un  $DO_{2i} > 280$  ml/min/m<sup>2</sup> durante CEC disminuye el riesgo de IRA y que el flujo de bomba debe ser en función del hematocrito, para mantener un  $DO_2 > 280$  ml/min/m<sup>2</sup> y no por superficie corporal y temperatura.<sup>23</sup> En condiciones fisiológicas la demanda de oxígeno es igual al consumo y corresponde a 4 ml/kg/min. El aporte de oxígeno es mayor que el consumo, el cual a su vez se adapta a la demanda tisular. Debido a los muchos factores que afectan el consumo de oxígeno durante CEC, otros estudios abogan por un objetivo de suministro de  $O_2$  individualizado en lugar de un nivel genérico de  $DO_{2i}$  crítico.<sup>24</sup> Es necesaria la individualización de las terapias, debido a las condiciones antes expuestas, sin embargo: ¿Cómo es posible establecer con garantías que este umbral crítico de  $DO_{2i}$  pueda ser menor en algún paciente, sin que esto influya en la seguridad de la perfusión tisular y a su vez que estos valores no repercuten significativamente en la función renal?

Como objetivo general se quiso determinar la relación entre el aporte de oxígeno y la insuficiencia renal aguda en pacientes adultos sometidos a cirugía cardiaca con el uso de CEC. Mas específicamente nos propusimos determinar la incidencia de

IRA según la edad y el sexo en la población estudiada. Evaluar el comportamiento de la creatinina a las primeras 24 horas y relacionar las siguientes variables: presión arterial media, diuresis en CEC, hipertensión, diabetes, tiempo de ventilación mecánica (TVM), tiempo de CEC, tiempo de pinzamiento aórtico y  $DO_2$  durante CEC, con el diagnóstico de IRA en el posoperatorio.

## MÉTODOS

Se realizó un estudio observacional descriptivo retrospectivo de los pacientes intervenidos de cirugía cardiaca con CEC en Mayagüez Medical Center, en el periodo comprendido entre mayo 2022 y abril 2023. Se obtuvieron los datos del expediente electrónico e historias de perfusión de los pacientes que fueron sometidos a cirugía cardiaca con el uso de CEC a 32°C. Se recopilaron los valores de las variables como: la edad, el sexo, la presencia de diabetes mellitus, hipertensión arterial, los valores de creatinina pre y posoperatoria, hemoglobina pre/peri y posoperatoria; los valores de los gases arteriales pre/peri y posoperatorios, la diuresis peri y posoperatoria; los flujos de bomba, la presión arterial media, el tiempo de bomba, el tiempo de pinzamiento aórtico, el  $DO_{2i}$  durante la CEC y el tiempo de ventilación mecánica.

Se determinó el  $DO_{2i}$  de cada paciente y se categorizaron en dos grupos: en el Grupo 1 se incluyeron aquellos pacientes cuyo  $DO_{2i}$  durante la CEC fue  $\geq 272$  ml/min/m<sup>2</sup> y en el Grupo 2 aquellos cuyo  $DO_{2i}$  fue  $< 272$  ml/min/m<sup>2</sup>. Para este estudio el equipo utilizado fue: una máquina de circulación extracorpórea Stockert S5° con el módulo de bomba centrífuga CP5° (Livanova, Londres, Reino Unido). El oxigenador utilizado fue el Inspire 6° y las tubuladuras arteriovenosas fueron de 3/8” x 1/2” (Sorin Group. Mirándola, Italia). El cono de la bomba centrífuga fue el Revolution° (Livanova, Londres, Reino Unido). Para la determinación de los gases en sangre se utilizó el Analizador Multiparamétrico para medición de gases, electrolitos y otros metabolitos Cobas b 221 (Roche Diagnostics, Estados Unidos), mientras que para las terminaciones séricas de creatinina se utilizó el Analizador de química clínica Unicel Dx C 800 Chemistry Analyzer (Beckman Coulter Diagnostics, Estados Unidos). Los datos se recopilaron en un formulario de Microsoft Excel para la debida tabulación. Para el procesamiento estadístico se empleó el software IBM SPSS Statistics 28 (IBM, New York, Estados Unidos de America). Se utilizó la prueba de Kolmogorov - Smirnov para verificar la normalidad de los datos antes de un análisis posterior. Para relacionar las variables se utilizó la correlación de Pearson. En este estudio

**TABLA 1A. DISTRIBUCIÓN DE PACIENTES.**

	<b>GRUPO 1</b> (DO <sub>2</sub> ≥ 272 ml/min/m <sup>2</sup> )	<b>GRUPO 2</b> (DO <sub>2</sub> < 272 ml/min/m <sup>2</sup> )	<b>TOTAL</b>
Total de pacientes	42 (33%)	85 (67%)	127 (100%)
Desarrollaron IRA	5 (12%)	17 (20%)	22 (17%)

**TABLA 1B. DATOS DEMOGRÁFICOS.**

	<b>GRUPO 1</b> (DO <sub>2</sub> ≥ 272 ml/min/m <sup>2</sup> ) MEDIA / DESVIACIÓN ESTÁNDAR	<b>GRUPO 2</b> (DO <sub>2</sub> < 272 ml/min/m <sup>2</sup> ) MEDIA / DESVIACIÓN ESTÁNDAR
EDAD	62 ± 8	67 ± 8
ESTATURA PULGADAS	67 ± 3	66 ± 3
PESO EN KG	84 ± 14.	77 ± 14
ÁREA SUPERFICIE CORPORAL	2,0 ± 0,2	1,9 ± 0,2
HEMOGLOBINA INICIAL	13,0 ± 1,2	11,3 ± 1,3
SEXO	FEMENINO- 5 MASCULINO- 40	FEMENINO- 22 MASCULINO- 60

se excluyeron los pacientes con insuficiencia renal crónica, con balón de contrapulsación, con cirugía previa de corazón y con información insuficiente o incompleta en sus expedientes. Esta investigación se realizó bajo los criterios de beneficencia y no maleficencia contra el paciente, apegados a la declaración de Helsinki y el código de Nürenberg.

Las muestras de sangre para las gasometrías arteriales fueron tomadas de forma simultánea al momento en que se alcanzó la temperatura de 32°C, que ocurrió alrededor de los 20 minutos después de iniciar la CEC, y después de liberar el pinzamiento aórtico.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 180 registros identificados y luego de eliminar 53 pacientes por los criterios de exclusión, 127 se incluyeron para este estudio. (Tabla 1A). El 21% de los pacientes fueron del sexo femenino y el 79% del sexo masculino, esta fue la única variable con una distribución no homogénea del estudio. (Tabla 1B). Al relacionar el sexo con la incidencia de IRA, en el grupo 1, están guardan una correlación negativa (sexo masculino) muy débil, mientras que en el grupo 2, la correlación es positiva (sexo femenino) muy débil. En ambos grupos estas correlaciones no son estadísticamente significativas. (Ver Tabla 1C). Los

**TABLA 1C. CORRELACIÓN ENTRE SEXO, LA IRA Y LA DIURESIS EN CEC EN GRUPO 1 Y GRUPO 2.**

<b>CORRELACIÓN</b>	<b>GRUPO 1</b> (DO <sub>2</sub> ≥ 272 ml/min/m <sup>2</sup> )	<b>GRUPO 2</b> (DO <sub>2</sub> < 272 ml/min/m <sup>2</sup> )
	<b>CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P</b>	<b>CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P</b>
SEXO/IRA	-0,102 / 0,521	+0,093 / 0,399
SEXO/DIURESIS EN CEC	+0,125 / 0,436	-0,428* / 0,000*

CEC: Circulación extracorpórea. IRA: Insuficiencia renal aguda,

\* Significancia estadística p<0,05, - = masculino/ + = femenino.

**TABLA 1D. CORRELACIÓN ENTRE LA EDAD, LA IRA Y LA DIURESIS EN CEC EN GRUPO 1 Y GRUPO 2.**

<b>CORRELACIÓN</b>	<b>GRUPO 1</b> (DO <sub>2</sub> ≥ 272 ml/min/m <sup>2</sup> )	<b>GRUPO 2</b> (DO <sub>2</sub> < 272 ml/min/m <sup>2</sup> )
	<b>CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P</b>	<b>CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P</b>
EDAD/IRA	-0,112 / 0,480	0,240 / 0,027*
EDAD/DIURESIS EN CEC	-0,319 / 0,042*	0,175 / 0,111

CEC: Circulación extracorpórea. IRA: Insuficiencia renal aguda, \*

Significancia estadística p<0,05.

resultados muestran una tendencia en el sexo femenino a desarrollar IRA cuando el DO<sub>2</sub> es < 272 ml/min/m<sup>2</sup>. En un metaanálisis realizado por Joel Neugarten se establece que el sexo femenino es un factor de riesgo independiente establecido relacionado con el paciente para el desarrollo de IRA asociada a CEC y donde quedó demostrado que las mujeres tienen más probabilidades que los hombres de desarrollar IRA en el posoperatorio.<sup>25</sup> En nuestro estudio no pudimos establecer una relación con lo escrito en la literatura por la distribución tan heterogénea del sexo dentro de la muestra.

Si se pudo relacionar el sexo con la diuresis en CEC. En el Grupo 1 la correlación es débilmente positiva y estadísticamente no significativa; mientras que en el Grupo 2 la correlación fue débilmente negativa y estadísticamente significativa, con lo cual podemos inferir que a pesar de tener un DO<sub>2i</sub> < 272 ml/min/m<sup>2</sup>, el sexo masculino tiene una tendencia a tener una diuresis en CEC mayor que la del femenino, esto teniendo en cuenta que se debe considerar la distribución por sexo heterogénea dentro de la muestra de nuestro estudio. (Tabla 1B).

Un estudio retrospectivo que involucró 696 pacientes, realizado en el por Song Young demuestra la relevancia predictiva de la diuresis en CEC, con respecto al riesgo de IRA postoperatoria.<sup>26,27</sup> Por lo tanto, la evaluación de la cantidad de diuresis durante la CEC puede ser el método de diagnóstico más simple y rápido, pero se requiere un enfoque integral.

Relationship between oxygen supply and the incidence of acute renal failure in adult patients undergoing cardiac surgery with extracorporeal circulation.

Rodríguez, G.

**TABLA 2A. COMPORTAMIENTO DE LA CREATININA EN AMBOS GRUPOS EN DIFERENTES TIEMPOS.**

	GRUPO 1 (DO <sub>2</sub> ≥ 272 ml/min/m <sup>2</sup> )	AUMENTO sobre el nivel basal (%)	GRUPO 2 (DO <sub>2</sub> < 272 ml/min/m <sup>2</sup> )	AUMENTO sobre el nivel basal (%)
CREATININA INICIAL (mg/dl)	0,89 ± 0,14 (SD)	-	0,88 ± 0,17 (SD)	-
CREATININA 24 HORAS (mg/dl) POSTOPERATORIO	1,01 ± 0,18 (SD)	+ 11%	1,08 ± 0,28 (SD)	+19%
CREATININA 48 HORAS (mg/dl) POSTOPERATORIO	0,97 ± 0,19 (SD)	+8%	0,99 ± 0,28 (SD)	+11%

SD: Desviación Estándar, por sus siglas en inglés

**TABLA 2B. CORRELACIÓN ENTRE LA CREATININA INICIAL Y LA IRA EN GRUPO 1 Y GRUPO 2.**

CORRELACIÓN	GRUPO 1 (DO <sub>2</sub> ≥ 272 ml/min/m <sup>2</sup> )	GRUPO 2 (DO <sub>2</sub> < 272 ml/min/m <sup>2</sup> )
	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P
CREATININA INICIAL/IRA	-0,253 / 0,106	0,081 / 0,461

IRA: Insuficiencia renal aguda

En nuestro estudio, se analizó la relación de la edad con la incidencia de IRA, lo que resultó que en el Grupo 1, esta guarda una correlación negativa muy débil y estadísticamente no significativa, mientras que en el Grupo 2 la correlación fue positiva muy débil y estadísticamente significativa con lo cual podemos intuir que cuando el DO<sub>2i</sub> es < 272 ml/min/m<sup>2</sup>, a mayor edad la incidencia de IRA es mayor. El comportamiento de la edad en relación con la diuresis en CEC mostró, para el Grupo 1, que la correlación fue negativa débil estadísticamente significativa, mientras que para el Grupo 2 la correlación fue positiva débil y estadísticamente no significativa. Por lo que la tendencia es que a pesar un DO<sub>2i</sub> ≥ 272 ml/min/m<sup>2</sup>, a mayor edad la diuresis va a ser menor. (Tabla 1D). Los niveles de creatinina elevados en el preoperatorio fueron el factor predictivo de riesgo más importante para la presencia de IRA posoperatoria descrito hasta la actualidad.<sup>3</sup> Nicolás Huggins y cols, estudiaron la incidencia de lesión renal aguda después de un cateterismo cardíaco, previo a un bypass cardiopulmonar. En esta investigación hallaron que la creatinina sérica previa al cateterismo era un factor de riesgo de IRA posterior a la CEC.<sup>8</sup> En nuestro estudio, el comportamiento de la creatinina a las primeras 24 horas en ambos grupos fue similar. (Tabla 2) En cuanto a la creatinina inicial y la aparición de IRA, en el Grupo 1 estas guardaron una correlación negativa muy débil y en el Grupo 2 la correlación fue positiva débil, estas fueron

**TABLA 2C. CORRELACIÓN ENTRE LA CREATININA INICIAL Y LA DIURESIS EN CEC.**

CORRELACIÓN	GRUPO 1 (DO <sub>2</sub> ≥ 272 ml/min/m <sup>2</sup> )	GRUPO 2 (DO <sub>2</sub> < 272 ml/min/m <sup>2</sup> )
	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P
CREATININA INICIAL/DIURESIS EN CEC	0,027 / 0,868	-0,249 / 0,022*

CEC: Circulación extracorpórea. \* Significancia estadística p<0,05

estadísticamente no significativas en ambos grupos. (Tabla 2B). La tendencia observada en los pacientes, cuyo nivel de creatinina aumentó a las 24 horas, fue una disminución de ésta, casi a niveles basales, a las 48 horas en ambos grupos. En el Grupo 1, la creatinina inicial guardó correlación positiva muy débil y estadísticamente no significativa con la diuresis en CEC. En el Grupo 2 la creatinina inicial guardó correlación negativa débil y estadísticamente significativa con la diuresis en CEC. (Tabla 2C). Esto significa que a mayor nivel basal de creatinina expuesto a un DO<sub>2i</sub> crítico < 272 ml/min/m<sup>2</sup> existe una menor producción de diuresis. La hipoperfusión renal que se produce durante la hipotensión en CEC es un factor de riesgo potencialmente modificable de IRA. De igual manera como ocurre en la autorregulación en el cerebro, el flujo de sangre al riñón se autorregula para garantizar la perfusión en un rango de presiones arteriales. Hay estudios que confirman cómo la presión arterial media (PAM) durante la CEC, influye en el flujo de orina.<sup>28</sup> En nuestro estudio, entre la presión media y la diuresis en CEC, existió una correlación positiva muy débil en ambos grupos, pero en el Grupo 1 fue estadísticamente no significativa mientras que en el Grupo 2 sí fue estadísticamente significativa. De esto podemos inferir que con un DO<sub>2i</sub> < 272 ml/min/m<sup>2</sup>, una mayor PAM ayuda a que la diuresis sea mayor. La correlación entre la PAM y la incidencia de IRA fue negativa débil en el Grupo 1 y positiva muy débil en el Grupo 2 y en ambos grupos fue estadísticamente no significativa. La correlación entre la diuresis en CEC y la incidencia de IRA fue negativa débil en el Grupo 1 y positiva muy débil en el Grupo 2 y en ambos grupos fue estadísticamente no significativa. (Tabla 3) Estos datos, aunque no estadísticamente significativos sugieren que una mayor presión arterial media favorece a la diuresis en CEC, pero cuando el DO<sub>2i</sub> está por debajo del valor crítico, esto no es suficiente para evitar la incidencia de IRA en el posoperatorio. Entre la hipertensión y diabetes observamos una correlación positiva débil en ambos grupos, pero estadísticamente no significativa para el Grupo

*Relationship between oxygen supply and the incidence of acute renal failure in adult patients undergoing cardiac surgery with extracorporeal circulation.*

Rodríguez, G.

**TABLA 3. CORRELACIÓN ENTRE PRESIÓN ARTERIAL MEDIA, DIURESIS EN CEC E IRA.**

CORRELACIÓN	GRUPO 1 (DO <sub>2</sub> ≥ 272 ml/min/m <sup>2</sup> )	GRUPO 2 (DO <sub>2</sub> < 272 ml/min/m <sup>2</sup> )
	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P
PAM/DIURESIS EN CEC	0,152 / 0,342	0,311 / 0,004*
PAM/IRA	-0,136 / 0,390	0,028 / 0,799
DIURESIS EN CEC/IRA	-0,220 / 0,167	0,089 / 0,421

CEC: Circulación extracorpórea. IRA: Insuficiencia renal aguda. PAM: Presión arterial media. \*Significancia estadística <0,05

**TABLA 4. CORRELACIÓN ENTRE HIPERTENSIÓN, DIABETES, TIEMPO DE VENTILACIÓN MECÁNICA E IRA.**

CORRELACIÓN	GRUPO 1 (DO <sub>2</sub> ≥ 272 ml/min/m <sup>2</sup> )	GRUPO 2 (DO <sub>2</sub> < 272 ml/min/m <sup>2</sup> )
	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P
HIPERTENSIÓN/ DIABETES	0,268 / 0,087	0,406 / 0,000*
HIPERTENSIÓN/TVM	0,127 / 0,424	-0,216 / 0,047*
HIPERTENSIÓN/IRA	0,170 / 0,282	0,025 / 0,818
DIABETES/TVM	-0,071 / 0,656	-0,046 / 0,675
DIABETES/IRA	0,549 / 0,000*	-0,129 / 0,238

TVM: Tiempo de ventilación mecánica, IRA: Insuficiencia renal aguda, \* Significancia estadística p<0,05.

1 y significativa para el 2. De esto podemos interpretar que cuando el DO<sub>2i</sub> está por debajo del valor crítico, la diabetes y la hipertensión arterial son factores que aumentan el riesgo de incidencia de IRA en el posoperatorio. (Tabla 4) En cuanto a la relación de la hipertensión con la incidencia de IRA, estas tuvieron una correlación positiva muy débil estadísticamente no significativa en ambos grupos. La hipertensión se comportó como un factor de riesgo que podría favorecer la incidencia de IRA en el posoperatorio, pero en este estudio esta relación no fue estadísticamente significativa. (Tabla 4). Entre la diabetes y el TVM, la correlación entre estas fue negativa, muy débil y estadísticamente no significativa en ambos grupos. (Tabla 4).

En cuanto a la diabetes y la incidencia de IRA tuvieron una correlación positiva moderada estadísticamente significativa en el Grupo 1 y negativa muy débil estadísticamente no significativa en el Grupo 2, por lo cual podemos deducir que a pesar de un DO<sub>2i</sub> en CEC ≥ 272 ml/min/m<sup>2</sup>, el paciente diabético tiene mayor riesgo de desarrollar IRA en el posoperatorio. (Tabla 4).

**TABLA 5. CORRELACIÓN ENTRE TIEMPO DE CEC, PINZAMIENTO AÓRTICO E IRA.**

CORRELACIÓN	GRUPO 1 (DO <sub>2</sub> ≥ 272 ml/min/m <sup>2</sup> )	GRUPO 2 (DO <sub>2</sub> < 272 ml/min/m <sup>2</sup> )
	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P
TIEMPO CEC/IRA	-0,243 / 0,120	0,211 / 0,052
TIEMPO PINZAMIENTO AÓRTICO/IRA	-0,263 / 0,096	0,064 / 0,563

CEC: Circulación extracorpórea. IRA: Insuficiencia renal aguda.

**TABLA 6. CORRELACIÓN ENTRE EL TIEMPO DE CEC, EL TIEMPO DE PINZAMIENTO AÓRTICO, EL TVM Y LA IRA.**

CORRELACIÓN	GRUPO 1 (DO <sub>2</sub> ≥ 272 ml/min/m <sup>2</sup> )	GRUPO 2 (DO <sub>2</sub> < 272 ml/min/m <sup>2</sup> )
	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P
TIEMPO CEC / TVM	0,360 / 0,019*	0,264 / 0,014*
TIEMPO DE PINZAMIENTO AÓRTICO / TVM	0,434 / 0,005*	0,322 / 0,003*
TVM / IRA	0,212 / 0,179	0,073 / 0,507

CEC: Circulación extracorpórea. TVM: Tiempo de ventilación mecánica, IRA: Insuficiencia renal aguda, \* Significancia estadística p<0,05.

La correlación entre el tiempo de CEC y la incidencia de IRA en el posoperatorio fue negativa débil en el Grupo 1 y positiva débil en el Grupo 2, pero estadísticamente no significativas. (Tabla 5).

La correlación entre el tiempo de pinzamiento aórtico y la incidencia de IRA en el posoperatorio fue negativa débil en el Grupo 1 y positiva débil en el Grupo 2, pero estadísticamente no significativa. Lo que evidencia que un DO<sub>2i</sub> ≥ 272 ml/min/m<sup>2</sup> puede ser un factor protector en casos de periodos extendidos de tiempo de CEC y oclusión aórtica. Por otra parte, en los pacientes perfundidos con DO<sub>2i</sub> < 272 ml/min/m<sup>2</sup> para mayor tiempo de CEC mayor va a ser la incidencia de IRA. (Tabla 5).

Es comúnmente aceptado que cuanto mayor sea el tiempo en CEC, mayor es la probabilidad de desarrollar insuficiencia renal aguda. Mientras otros estudios evidencian que no hay correlación estadísticamente significativa entre el tiempo en CEC y la IRA. Esto sugiere que una evaluación de riesgos precisa podría ser más importante que el tiempo de CEC para determinar la ocurrencia de IRA.<sup>29</sup>

La correlación entre el tiempo en CEC y el tiempo de pinzamiento aórtico con el tiempo de ventilación mecánica fue en ambos casos positiva débil y estadísticamente significativa. Esto evidencia que a mayor tiempo de CEC y pinzamiento

*Relationship between oxygen supply and the incidence of acute renal failure in adult patients undergoing cardiac surgery with extracorporeal circulation.*

Rodríguez, G.

TABLA 7. CORRELACIÓN ENTRE DO <sub>2</sub> i E IRA.		
CORRELACIÓN	GRUPO 1 (DO <sub>2</sub> ≥ 272 ml/min/m <sup>2</sup> )	GRUPO 2 (DO <sub>2</sub> < 272 ml/min/m <sup>2</sup> )
	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P
DO <sub>2</sub> i/IRA	-0,006 / 0,970	-0,039 / 0,723

DO<sub>2</sub>i: Suministro de oxígeno indexado. IRA: Insuficiencia renal aguda.

TABLA 8. CORRELACIONES RELEVANTES EN EL ANÁLISIS DEL SUBGRUPO DE PACIENTES QUE DESARROLLARON IRA EN EL POSOPERATORIO (17%).		
CORRELACIONES RELEVANTES	GRUPO 1 (DO <sub>2</sub> ≥ 272 ml/min/m <sup>2</sup> )	GRUPO 2 (DO <sub>2</sub> < 272 ml/min/m <sup>2</sup> )
	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P	CORRELACIÓN DE PEARSON/VALOR DE P
HIPERTENSIÓN / DIURESIS EN CEC	-0,923 / 0,025*	
CREATININA INICIAL / CREATININA EN 24 HORAS	0,950 / 0,013*	0,887 / 0,000*
DIURESIS EN CEC / HEMOGLOBINA	0,954 / 0,012*	0,497 / 0,042*
TIEMPO DE CEC / TVM		0,528 / 0,000*
TIEMPO DE PINZAMIENTO AÓRTICO / TVM		0,693 / 0,002*

CEC: Circulación extracorpórea. TVM: Tiempo de ventilación mecánica, \* Significancia estadística p<0,05.

aórtico mayor va a ser el tiempo de ventilación mecánica, hecho que evidencian algunos estudios.<sup>30</sup>(Tabla 6).

En cuanto a la entrega de oxígeno o DO<sub>2</sub>i tanto en el Grupo 1 como en el Grupo 2, el DO<sub>2</sub>i guarda una correlación negativa muy débil y estadísticamente no significativa con la incidencia de IRA. (Tabla 7). El comportamiento de ambos grupos reveló que a menor aporte de oxígeno mayor incidencia de IRA, aunque en ambos grupos la correlación no fue estadísticamente significativa. Este comportamiento fue similar al de otros estudios realizados anteriormente, no se encontró una correlación estadísticamente significativa entre el DO<sub>2</sub>i y la incidencia de IRA en el posoperatorio.<sup>24,31</sup>

Con vista en los hallazgos obtenidos y para evitar sesgos se propone un análisis de subgrupo, solo con los pacientes que desarrollaron IRA en el posoperatorio. En los pacientes cuyo DO<sub>2</sub>i en CEC fue ≥ 272 ml/min/m<sup>2</sup>, la hipertensión fue un factor de riesgo independiente para el desarrollo de la IRA. En ambos grupos se observó una correlación positiva muy fuerte y estadísticamente significativa entre los valores de creatinina

inicial y el de creatinina a las 24 horas, lo cual nos evidencia que, independientemente de los valores de DO<sub>2</sub>i, mientras más alto el nivel de creatinina en el preoperatorio, mayor será el incremento en el posoperatorio. En cuanto a la relación entre la diuresis y la hemoglobina en CEC, se observó una correlación positiva de moderada a muy fuerte y estadísticamente significativa. Independientemente del valor de DO<sub>2</sub>i de los pacientes en CEC, una mayor diuresis tiene como resultado una mayor hemoconcentración y por consiguiente mayor nivel de hemoglobina. Se observó una correlación positiva de moderada a considerable y estadísticamente significativa entre los tiempos de CEC y de pinzamiento aórtico con el TVM. Esto es congruente con estudios que evidencian que a un mayor tiempo de CEC con DO<sub>2</sub>i por debajo del nivel crítico, mayor será la incidencia de IRA en el posoperatorio.<sup>32</sup> (Tabla 8)

### CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en este estudio, y específicamente en el análisis de subgrupo para evaluar con mayor atención los pacientes que desarrollaron IRA, podemos concluir que existe una correlación significativa de desarrollo de insuficiencia renal aguda con el mantenimiento de una entrega de oxígeno menor a 272 ml/min/m<sup>2</sup>.

Se necesitan más estudios donde se puedan incluir el análisis de variables como el lactato, y la renina para establecer que tanto se puede perfundir de manera global aun no teniendo niveles de DO<sub>2</sub>i mayores del umbral crítico establecido en otras investigaciones. Es necesario establecer una terapia dirigida por objetivo individualizada.

### RECOMENDACIONES

Realizar análisis de variables como el lactato y la renina para establecer que tanto se puede perfundir de manera global aun no teniendo niveles de DO<sub>2</sub>i mayores del umbral crítico establecido en otras investigaciones.

### LIMITACIONES

Como limitaciones en este estudio se identificaron el no tener registrados los valores de SvO<sub>2</sub> y así por ende el VO<sub>2</sub>. El no haber incluido el análisis de renina para valorar la demanda individual de oxígeno de cada paciente y poder determinar posibles factores protectores en caso de una DO<sub>2</sub>i por debajo del valor crítico establecido. Otra limitación identificada fue el no tener una población más homogénea en relación con el sexo.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Artürk C, Ozgen ZS, Kilercik M, Ulugöl H, Ökten EM, Aksu U, et al. Comparative effects of hemodilutional anemia and transfusion during cardiopulmonary bypass on acute kidney injury: a prospective randomized study. *Heart Surg Forum* [Internet]. 2015 [cited 8 Aug 2023];18(4):E154-60. Available from: <https://journal.hsforum.com/index.php/HSE/article/view/1387>
2. Tsao CW, Aday AW, Almarzooq ZI, Anderson CAM, Arora P, Avery CL, et al. American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. Heart Disease and Stroke Statistics-2023 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation* [Internet]. 2023 [cited 8 Aug 2023];147(8):e93-e621. Erratum in: *Circulation*. 2023 Jul 25;148(4):e4. Available from: [https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIR.0000000000001123?url\\_ver=Z39.88-2003&rft\\_id=ori:rid:crossref.org&rft\\_dat=cr\\_pub%20%20pubmed](https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIR.0000000000001123?url_ver=Z39.88-2003&rft_id=ori:rid:crossref.org&rft_dat=cr_pub%20%20pubmed)
3. Liu D, Liu B, Liang Z, Yang Z, Ma F, Yang Y, et al. Kidney Injury following Cardiopulmonary Bypass: A Challenging Picture. *Oxid Med Cell Longev* [Internet]. 2021 [cited 8 Aug 2023] 9;2021:8873581. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7963912/>
4. Haase-Fielitz A, Haase M, Bellomo R, Dragun D. Genetic polymorphisms in sepsis- and cardiopulmonary bypass-associated acute kidney injury. *Contrib Nephrol* [Internet]. 2007 [cited 8 Aug 2023];156:75-91. Available from: <https://karger.com/books/book/2581/abstract/5745583/Genetic-Polymorphisms-in-Sepsis-and?redirectedFrom=fulltext>
5. Ostermann ME, Taube D, Morgan CJ, Evans TW. Acute renal failure following cardiopulmonary bypass: a changing picture. *Intensive Care Med* [Internet]. 2000 [cited 8 Aug 2023];26(5):565-71. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s001340051205>
6. Rosner MH. Acute kidney injury in the elderly. *Clin Geriatr Med* [Internet]. 2013 [cited 8 Aug 2023];29(3):565-78. Available from: [https://www.geriatric.theclinics.com/article/S0749-0690\(13\)00034-7/fulltext](https://www.geriatric.theclinics.com/article/S0749-0690(13)00034-7/fulltext)
7. Ge Ng RR, Huey Chew ST, Liu W, Kah Ti L. Persistent kidney injury at hospital discharge after cardiac surgery with cardiopulmonary bypass in patients with normal preoperative serum creatinine and normal estimated glomerular filtration rate. *J Cardiothorac Vasc Anesth* [Internet]. 2014 [cited 8 Aug 2023];28(6):1453-8. Available from: [https://www.jcvaonline.com/article/S1053-0770\(14\)00201-8/fulltext](https://www.jcvaonline.com/article/S1053-0770(14)00201-8/fulltext)
8. Huggins N, Nugent A, Modem V, Rodriguez JS, Forbess J, Scott W, et al. Incidence of acute kidney injury following cardiac catheterization prior to cardiopulmonary bypass in children. *Catheter Cardiovasc Interv* [Internet]. 2014 [cited 8 Aug 2023];84(4):615-9. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ccd.25405>
9. Pandya D, Nagrajappa AK, Ravi KS. Assessment and Correlation of Urea and Creatinine Levels in Saliva and Serum of Patients with Chronic Kidney Disease, Diabetes and Hypertension- A Research Study. *J Clin Diagn Res* [Internet]. 2016 [cited 8 Aug 2023];10(10):ZC58-ZC62. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5121806/>
10. Perazzi Beatriz AM. Creatinina en sangre: calidad analítica e influencia en la estimación del Índice de Filtrado Glomerular. *Acta Bioquím Clin Latinoam* [Internet]. 2011 [citado 8 Agosto 2023];45(2): p. 265-72. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/535/53521168003.pdf>
11. Higgins C. Urea and creatinine concentration, the urea:creatinine ratio [Internet]. *Acute Care testing*. 2016 [cited 8 Aug 2023]. Available from: <https://cutecaretesting.org/en/articles/urea-and-creatinine-concentration-the-urea-creatinine-ratio>
12. Landry DW. Approach to the patient with renal disease. In: Goldman L, Schafer, editors. *Goldman-Cecil Medicine*. Philadelphia: Elsevier; 2020.
13. Thomas ME, Blaine C, Dawnay A, Devonald MA, Ftouh S, Laing C, et al. The definition of acute kidney injury and its use in practice. *Kidney Int* [Internet]. 2015 [cited 8 Aug 2023];87(1):62-73. Available from: [https://www.kidney-international.org/article/S0085-2538\(15\)30035-1/fulltext](https://www.kidney-international.org/article/S0085-2538(15)30035-1/fulltext)
14. Ellis MC, Paugh TA, Dickinson TA, Fuller J, Chores J, Paone G, et al; PERForm Registry and the Michigan Society of Thoracic and Cardiovascular Surgeons Quality Collaborative. Nadir Hematocrit on Bypass and Rates of Acute Kidney Injury: Does Sex Matter? *Ann Thorac Surg* [Internet]. 2015 [cited 8 Aug 2023];100(5):1549-54. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6817808/>
15. Hessel EA 2nd. A Brief History of Cardiopulmonary Bypass. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* [Internet]. 2014 [cited];18(2):87-100. Available from: [https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1089253214530045?url\\_ver=Z39.88-2003&rft\\_id=ori:rid:crossref.org&rft\\_dat=cr\\_pub%20%20pubmed](https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1089253214530045?url_ver=Z39.88-2003&rft_id=ori:rid:crossref.org&rft_dat=cr_pub%20%20pubmed)
16. Rojas JRA, Ortiz REM, Medina BR. Hemodilución Normovolémica aguda en pacientes sometidos a revascularización coronaria. *Rev Mex Anest* [Internet]. 2003 [citado 8 Agosto 2023];26(1):13-16. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=16820>

17. Ranucci M, Romitti F, Isgrò G, Cotza M, Brozzi S, Boncilli A, et al. Oxygen delivery during cardiopulmonary bypass and acute renal failure after coronary operations. *Ann Thorac Surg* [Internet]. 2005 [cited 8 Aug 2023];80(6):2213-20. Available from: [https://www.annalsthoracicsurgery.org/article/S0003-4975\(05\)00965-3/fulltext](https://www.annalsthoracicsurgery.org/article/S0003-4975(05)00965-3/fulltext)
18. KADIGO, International Society of Nephrology. Practice Guideline for Acute Kidney Injury. *Kidney Int Suppl* [Internet]. 2012 [cited 8 Aug 2023];2(1):1-138. Available from: <https://kdigo.org/wp-content/uploads/2016/10/KDIGO-2012-AKI-Guideline-English.pdf>
19. Bagshaw SM, George C, Bellomo R; ANZICS Database Management Committee. A comparison of the RIFLE and AKIN criteria for acute kidney injury in critically ill patients. *Nephrol Dial Transplant* [Internet]. 2008 [cited 8 Aug 2023];23(5):1569-74. Available from: <https://academic.oup.com/ndt/article/23/5/1569/1809429?login=false>
20. Gaínza de los Ríos FJ. Insuficiencia Renal Aguda. En: Lorenzo V, López Gómez JM (Eds). *Nefrología al día*. ISSN: 2659-2606. Disponible en: <https://www.nefrologiaaldia.org/es-articulo-insuficiencia-renal-aguda-317>
21. Luo X, Jiang L, Du B, Wen Y, Wang M, Xi X; Beijing Acute Kidney Injury Trial (BAKIT) workgroup. A comparison of different diagnostic criteria of acute kidney injury in critically ill patients. *Crit Care* [Internet]. 2014 [cited 8 Aug 2023];18(4):R144. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4227114/>
22. Santos-Jimenez JC, Jaime-Borrego JM, González-Navarro JM. Perfusión dirigida a objetivos: revisión bibliográfica. *Revista Española de Perfusión* [Internet]. 2019 [citado 8 Agosto 2023];66(1): 5-11. Disponible en: [https://www.aep.es/revista-articulo/62/66\\_2.pdf](https://www.aep.es/revista-articulo/62/66_2.pdf)
23. 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 8 Aug 2023];156(5):1918-27.e2. Available from: [https://www.jtcvs.org/article/S0022-5223\(18\)31029-8/fulltext](https://www.jtcvs.org/article/S0022-5223(18)31029-8/fulltext)
24. Hendrix RHJ, Ganushchak YM, Weerwind PW. Oxygen delivery, oxygen consumption and decreased kidney function after cardiopulmonary bypass. *PLoS ONE* [Internet]. 2014 [cited 8 Aug 2023];9(11):e0225541. Available from: <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0225541&type=printable>
25. Neugarten J, Sandilya S, Singh B, Golestaneh L. Sex and the Risk of AKI Following Cardio-thoracic Surgery: A Meta-Analysis. *Clin J Am Soc Nephrol* [Internet]. 2016 [cited 8 Aug 2023];11(12): p. 2113-22. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5142065/>
26. Song Y, Kim DW, Kwak YL, Kim BS, Joo HM, Ju JW, et al. Urine Output During Cardiopulmonary Bypass Predicts Acute Kidney Injury After Cardiac Surgery: A Single-Center Retrospective Analysis. *Medicine (Baltimore)* [Internet]. 2016 [cited 8 Aug 2023];95(22):e3757. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4900713/>
27. Jing H, Liao M, Tang S, Lin S, Ye L, Zhong J, et al. Predicting the risk of acute kidney injury after cardiopulmonary bypass: development and assessment of a new predictive nomogram. *BMC Anesthesiology* [Internet]. 2022 [cited 8 Aug 2023];22:379. Available from: <https://bmcanaesthesiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12871-022-01925-w#citeas>
28. Hori D, Katz NM, Fine DM, Ono M, Barodka VM, Lester LC, et al. Defining oliguria during cardiopulmonary bypass and its relationship with cardiac surgery-associated acute kidney injury. *Br J Anaesth* [Internet]. 2016 [cited 8 Aug 2023];117(6):733-40. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5155559/>
29. Mancini E, Caramelli F, Ranucci M, Sangiorgi D, Reggiani LB, Frascaroli G, et al. Is time on cardiopulmonary bypass during cardiac surgery associated with acute kidney injury requiring dialysis? *Hemodial Int* [Internet]. 2012 [cited 8 Aug 2023];16(2):252-8. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1542-4758.2011.00617.x>
30. Sharma V, Rao V, Manlhiot C, Boruvka A, Fremes S, Wąsowicz M. A derived and validated score to predict prolonged mechanical ventilation in patients undergoing cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* [Internet]. 2017 [cited 8 Aug 2023];153(1):108-115. Available from: [https://www.jtcvs.org/article/S0022-5223\(16\)31039-X/fulltext](https://www.jtcvs.org/article/S0022-5223(16)31039-X/fulltext)
31. Santos-Palominio JC, Santos-Palominio MC, Casado-Sánchez C. Aporte de oxígeno durante la CEC e insuficiencia renal aguda: estudio preliminar. *Revista Española de Perfusión* [Internet]. 2019 [citado 8 Agosto 2023]; 67(2):5-11. Disponible en: [https://www.aep.es/revista-articulo/68/67\\_2.pdf](https://www.aep.es/revista-articulo/68/67_2.pdf)
32. de la Hoz MA, Rangasamy V, Bastos AB, Xu X, Novack V, Saugel B, et al. Intraoperative Hypotension and Acute Kidney Injury, Stroke, and Mortality during and outside Cardiopulmonary Bypass: A Retrospective Observational Cohort Study. *Anesthesiology* [Internet]. 2022 [cited 8 Aug 2023];136(6):927-939. Available from: <https://pubs.asahq.org/anesthesiology/article/136/6/927/135638/Intraoperative-Hypotension-and-Acute-Kidney-Injury>

Fecha de recepción: 2 de diciembre de 2023.

Fecha de aceptación: 26 de diciembre de 2023.