



ARTÍCULO ESPECIAL

Perfusión dirigida por objetivos: práctica actual en técnicas de circulación extracorpórea

Goal-directed perfusion: Current practice in extracorporeal circulation techniques

Alejandra Gatica^a✉, Carlos Muñoz-Valdivia^a, Nicolette Van Sint Jan^a, Sandra Ramos^b.

^a Unidad de ECMO, Clínica Las Condes. Santiago, Chile.

^b Universidad Católica del Maule. Talca, Chile.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del Artículo:

Recibido: 21 08 2023

Aceptado: 22 11 2023

Key words:

Extracorporeal Circulation;
Thoracic Surgery; Perfusion.

Palabras clave:

Circulación Extracorpórea;
Cirugía Torácica; Perfundión.

RESUMEN

La circulación extracorpórea (CEC) es un componente esencial de la cirugía cardíaca dado que permite mantener soporte vital durante el paro cardíaco inducido necesario para realizar las intervenciones cardioquirúrgicas. Sin embargo, la CEC presenta efectos adversos a nivel local y sistémico debido a que sus componentes producen alteraciones a nivel de la macro y microcirculación, potencialmente llevando a una hipoperfundión. La técnica de perfusión dirigida por objetivos (GDP, por sus siglas en inglés), busca personalizar el manejo hemodinámico según metas predefinidas, optimizando de tal modo la oxigenación y perfusión tisular durante la CEC. Esto implica una monitorización constante de parámetros claves, con la finalidad de realizar cambios en tiempo real de las estrategias de perfusión. Durante los últimos 10 años, se han explorado los beneficios del uso de GDP y, visualizado su superioridad en relación al enfoque tradicional. El objetivo de este artículo es describir la práctica GDP en la monitorización durante la CEC. Nos enfocaremos en las variables ya existentes monitorizadas bajo el concepto de GDP, aplicándolas y manipulándolas para optimizar la perfusión tisular en tiempo real.

ABSTRACT

Extracorporeal circulation (ECO) is an essential component of cardiac surgery since it allows life support to be maintained during the induced cardiac arrest necessary to perform cardiac surgical interventions. However, CPB presents adverse effects at a local and systemic level because its components produce alterations at the macro- and microcirculation levels, potentially leading to hypoperfusion. The goal-directed perfusion (GDP) technique seeks to personalize hemodynamic management according to predefined goals, thereby optimizing tissue oxygenation and perfusion during CPB. This implies constant monitoring of key parameters, to make real-time changes to perfusion strategies. Over the past 10 years, the benefits of using GDP have been explored and its superiority over the traditional approach visualized. The objective of this article is to describe GDP practice in monitoring during CPB. We will focus on the existing variables monitored under the GDP concept, applying and manipulating them to optimize tissue perfusion in real-time.

✉ Autor para correspondencia

Correo electrónico: agatica@clinicalascondes.cl

<https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2023.11.003>

e-ISSN: 2531-0186/ ISSN: 0716-8640/© 2024 Revista Médica Clínica Las Condes.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



INTRODUCCIÓN

La incorporación del *bypass* cardiopulmonar (BCP) o circulación extracorpórea (CEC) es un hito mayor dentro de la historia de la cirugía cardíaca. La primera cirugía con CEC se realizó en 1953. Los avances y desarrollo de esta técnica en los últimos 20 años han sido cruciales para avanzar en la optimización de dicho soporte, pasando en este periodo de actuar desde la experiencia clínica a la evaluación sistemática de la perfusión tisular.

La técnica de perfusión dirigida por objetivos (GDP, por sus siglas en inglés), busca personalizar el manejo hemodinámico según metas predefinidas, optimizando de tal modo la oxigenación y perfusión tisular durante la CEC. Esto implica una monitorización constante de parámetros claves, con la finalidad de realizar cambios en tiempo real de las estrategias de perfusión. Durante los últimos 10 años, se han explorado los beneficios del uso de GDP visualizándose su superioridad en relación al enfoque tradicional, sustentada principalmente en la experiencia clínica y al gasto cardíaco objetivo relacionado a índice cardíaco indexado^{1,2}.

La CEC es un componente esencial de la cirugía cardíaca dado que permite mantener soporte vital durante la parada cardíaca electro-mecánica (paro cardíaco inducido) necesaria para realizar las intervenciones cardiocirúrgicas. Sin embargo, la CEC presenta efectos adversos a nivel local y sistémico debido a que sus componentes producen alteraciones a nivel de la macro y microcirculación, potencialmente llevando a una hipoperfusión³.

La GDP intenta mantener una perfusión óptima, en tiempo real, para disminuir el riesgo de una inadecuada perfusión tisular y alteraciones fisiológicas, que pudiesen llevar a efectos deletéreos tales como acidosis metabólica, hiperlactatemia, e isquemia de órganos^{1,2,4}. Para lograr disminuir este impacto, la GDP identifica, cuantifica e interviene *in situ* los elementos que definen las variables fisiológicas tales como aporte de oxígeno (DO_2), consumo de oxígeno (VO_2) y extracción de oxígeno (ERO_2)²⁻⁵.

Los inicios de la GDP se remontan a las décadas de 1970 y 1980, cuando los cirujanos y perfusionistas comenzaron a vislumbrar la importancia de mantener una perfusión adecuada durante la

CEC¹. En este periodo se enfatizaba la importancia de mantener la presión arterial y el flujo sanguíneo dentro de ciertos rangos para prevenir el daño de órganos y el síndrome de bajo gasto cardíaco (SBGC)² (tabla 1), siendo estos dos parámetros los monitorizados en forma continua, sin evaluación final a nivel de microperfusión. A medida que avanzó la tecnología médica, y ya en la década de 1990, se marcó un paso importante en la monitorización y el ajuste de la perfusión: surgieron sistemas más sofisticados de monitoreo hemodinámico, con medición de multiparámetros en línea durante la CEC (actuales sistemas de monitorización en línea como *Spectrum Medical Quantum M4*, *CDI 500*, monitor GDP con *Software Connect, Landing*, entre otros) que permitieron una evaluación dinámica, precisa y en tiempo real de los parámetros fisiológicos. Esta monitorización permitía ajustar la perfusión de manera individualizada para prevenir y/o responder a cambios en el medio interno, en miras a mantener la homeostasis⁶.

PARÁMETROS DE LA TÉCNICA DE PERFUSIÓN POR OBJETIVOS

El rol de la monitorización para actuar a tiempo en el manejo de estos pacientes es crucial, ya que el shock y el SBGC son condiciones potencialmente mortales. Se caracterizan por una insuficiencia del suministro de oxígeno (DO_2) para el consumo de oxígeno (VO_2), lo que conduciría a disfunción celular y falla de órganos^{5,7}.

Una reducción del DO_2 conducirá primero a un aumento en la proporción de la extracción de oxígeno (ERO_2) para mantener estable el aporte de O_2 a los tejidos. Como resultado, la saturación venosa central de oxígeno ($SvcO_2$) disminuirá proporcionalmente a la reducción de DO_2 . La $SvcO_2$ ofrece una imagen global del estado de extracción de oxígeno del paciente^{5,8}. El papel de la $SvcO_2$ como marcador, tanto del deterioro hemodinámico como de la respuesta clínica a los tratamientos, se ha estudiado ampliamente en pacientes adultos en Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), siendo uno de los marcadores analizados durante la reanimación de un paciente y durante el *bypass* cardiopulmonar. En cirugía cardíaca, niveles de $SvcO_2$ bajos se han asociado con deterioro hemodinámico progresivo y resultados clínicos desfavorables. Así también, y al igual que en otros pacientes críticos, el nivel de lactato sérico nos aporta in-

Tabla 1. Parámetros CEC tradicionales vs. GDP²

Parámetros globales actuales	Parámetros integrados (GDP)
$SvO_2 > 60 - 70\%$ $PAM \geq 65$ mmHg	Índice de suministro de oxígeno ($DO_{2i}; \geq 260 - 272$ ml/min/m ²)
$PVO_2 > 40$ mmHg	Índice de consumo de oxígeno ($VO_{2i}; < 60$ ml/min/m ²)
pH: 7,35 - 7,45	Índice de producción de dióxido de carbono ($VCO_{2i}; < 60$ ml/min/m ²)
$pCO_2: 35 - 45$ mmHg	$DO_{2i} / VCO_{2i} (>5)$
Índice cardíaco: 2,2 - 2,6 l/min/m ²	$VO_{2i} / DO_{2i} (ERO_{2i}; < 0,25)$
Ácido láctico $< 2,0$ mmol/l	VCO_{2i} / VO_{2i} (cociente respiratorio; < 1)

formación de una perfusión tisular inadecuada, dado que es uno de los marcadores más importantes de déficit de entrega de O₂ y de inicio de metabolismo anaeróbico y eventual muerte celular⁹.

Por otra parte, los parámetros derivados de la producción de CO₂ y su comportamiento como el delta CO₂ (diferencia de CO₂ venoso central y arterial, o ΔpCO₂), son parámetros a seguir para posteriormente intervenir, dado que también muestran la perfusión de la microcirculación^{4,10}.

Basados en estos fenómenos, la GDP toma los términos “convencionales” de perfusión óptima en CEC y agrega conceptos de microcirculación y perfusión/respiración celular. Durante la CEC, estos se “indexan”: Índice de suministro o aporte de oxígeno (DO_{2i}), índice de consumo de oxígeno (VO_{2i}), índice de producción de dióxido de carbono (VCO_{2i}) y tasa de extracción de O₂ (ERO₂ o VO₂/DO₂). La importancia de supervisar y controlar estos valores, radica en las potenciales intervenciones derivadas del análisis de estos parámetros, con el fin de alcanzar una homeostasia del medio interno (Tabla 2)^{1,2,8}.

Por ejemplo, Ranucci, en revisiones del 2006 al 2015, se dedicó a explorar una serie de parámetros derivados del consumo de oxígeno y de la producción de CO₂ y su asociación en la elevación del ácido láctico en CEC. Concluyó que los elementos que pronostican hiperlactatemia durante el *bypass* cardiopulmonar son una producción de CO₂ (VCO₂) > 60 ml/min/m² y una relación DO_{2i}/VCO_{2i} < 5:1^{8,11,12}. Además, con un estudio retrospectivo del 2011 (serie pequeña de 36 pacientes) Ranucci sostiene que las variables derivadas del oxígeno, saturación venosa de O₂ (SvO₂) y la tasa de extracción de oxígeno (ERO₂) son mejores predictores que el valor de la hemoglobina a la hora de decidir la transfusión de glóbulos rojos durante la CEC⁸.

Estas observaciones son uno de los motivos principales que llevan a monitorizar lo referido, ya que permite tomar decisiones sobre que variables manipular para optimizar la perfusión durante la CEC. La mayoría de los estudios publicados sobre GDP están relaciona-

dos con la lesión renal aguda^{9,13,14}. Entre el 1% y 3% de los pacientes presenta insuficiencia renal aguda secundaria a CEC por inadecuado transporte¹⁵.

En otra serie pequeña del 2018, Ranucci demostró que la hemodilución durante la CEC y la injuria renal aguda (AKI, por su sigla en inglés) están relacionadas. Por cada disminución de 1% de hematocrito por debajo del 26%, la tasa de AKI aumentaba un 7%. Este estudio demostró que un hematocrito por debajo del 24% compromete el aporte de oxígeno al riñón, por lo tanto, el flujo de la bomba debe adaptarse al valor del hematocrito para mantener el suministro de O₂ por encima del valor crítico descrito (260-272 ml/min/m²) y no debe calcularse por superficie corporal y temperatura^{2,14}. En relación a esto Ranucci y sus asociados en el ensayo *Goal-Directed Perfusion Trial* (GIFT)⁷ desarrollaron una herramienta de referencia (la cuál considera durante la CEC una PaO₂ de ≥ 200 mmHg y saturación de O₂ de 100% (figura 1).

$$\begin{aligned}
 \text{CaO}_2 &= (\text{hemoglobina} \times 1,34) (\text{SaO}_2/100) + (\text{PaO}_2 \times 0,0031), \\
 \text{DO}_2 &= \text{flujo sanguíneo} \times 10 \times \text{CaO}_2, \\
 \text{DO}_2 \text{ i} &= \text{DO}_2 / \text{superficie corporal}, \\
 280 &= \text{flujo sanguíneo} \times 10 \times \text{CaO}_2 / \text{superficie corporal}, \\
 \text{Flujo sanguíneo} &= 280 \times \text{superficie corporal} / [(\text{hemoglobina} \times 1,34) \\
 &\quad (\text{SaO}_2/100) + (\text{PaO}_2 \times 0,0031)] \times 10 \\
 \text{Flujo sanguíneo} &= 280 \times \text{superficie corporal} / [(\text{hemoglobina} \times 1,34) + 0,62] \times 10
 \end{aligned}$$

Figura 1. Fórmula de flujo sanguíneo. Modificado de Srey et al.⁷.

Esta herramienta permite determinar rápidamente el límite inferior del débito a proporcionar a un paciente de cualquier superficie corporal y asegurar un DO₂ satisfactorio, permitiendo que cualquier centro de cirugía cardíaca adopte la técnica GDP, incluso en ausencia de monitoreo instantáneo de DO₂ (Tabla 3).

Los estudios han demostrado que los flujos sanguíneos en la CEC que no proporcionan un DO₂ adecuados darán lugar a un mayor riesgo de lesión renal aguda e hiperlactatemia. Una comparación

Tabla 2. Convención de parámetros

Parámetro	Fórmula
Transporte arterial de oxígeno: DO₂	DO₂ = GC x CaO₂ = GC x (1,34 x Hb x sat art O₂) x 10
Consumo de oxígeno: VO₂	VO ₂ = IC x (CaO ₂ - CvO ₂) VO₂ = IC x 1,34 x Hb x (sat art O₂ - sat ven de O₂)
Saturación venosa mixta de oxígeno: SvO₂	SvO ₂ = DO ₂ / VO ₂ SvO₂ = (GC / VO₂) x Hb x sat art de O₂
Coefficiente de extracción de oxígeno: CEO₂ o ERO₂	ERO₂ = VO₂ / DO₂ (x 100)
Cociente respiratorio: CR	CR: VCO₂/VO₂

GC: gasto cardíaco; Hb: hemoglobina; IC: índice cardíaco; sat art: saturación arterial; sat ven: saturación venosa.

directa del flujo basado en el GDP con el flujo basado en el índice cardíaco muestra que los índices cardíacos comúnmente utiliza-

dos a menudo subestiman el flujo requerido para lograr un DO_2 i de 280 ml/min/m² (tabla 4).

Tabla 3. Veterans Affairs Boston Healthcare System, guía de referencia rápida para uso en GDP

BSA (m ²)	Hemoglobina (g/dl)												
	7,0	7,3	7,7	8,0	8,3	8,7	9,0	9,3	9,7	10,0	10,3	10,7	11,0
1,5	4,2	4,0	3,8	3,7	3,6	3,4	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9	2,8	2,7
1,6	4,5	4,3	4,1	4,0	3,8	3,7	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9
1,7	4,8	4,6	4,4	4,2	4,1	3,9	3,8	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1
1,8	5,1	4,9	4,6	4,5	4,3	4,1	4,0	3,9	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3
1,9	5,2	5,0	4,7	4,6	4,4	4,2	4,1	4,0	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4
1,9	5,3	5,1	4,9	4,7	4,5	4,3	4,2	4,1	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5
2,0	5,5	5,3	5,0	4,8	4,7	4,5	4,3	4,2	4,0	3,9	3,8	3,7	3,6
2,0	5,6	5,4	5,1	4,9	4,8	4,6	4,4	4,3	4,1	4,0	3,9	3,7	3,7
2,1	5,8	5,5	5,3	5,1	4,9	4,7	4,5	4,4	4,2	4,1	4,0	3,8	3,7
2,1	5,9	5,7	5,4	5,2	5,0	4,8	4,6	4,5	4,3	4,2	4,1	3,9	3,8
2,2	6,0	5,8	5,5	5,3	5,1	4,9	4,8	4,6	4,4	4,3	4,2	4,0	3,9
2,2	6,2	5,9	5,6	5,4	5,3	5,0	4,9	4,7	4,5	4,4	4,3	4,1	4,0
2,3	6,3	6,1	5,8	5,6	5,4	5,1	5,0	4,8	4,6	4,5	4,4	4,2	4,1
2,3	6,5	6,2	5,9	5,7	5,5	5,3	5,1	4,9	4,7	4,6	4,5	4,3	4,2
2,4	6,6	6,3	6,0	5,8	5,6	5,4	5,2	5,0	4,8	4,7	4,6	4,4	4,3
2,4	6,7	6,5	6,2	5,9	5,7	5,5	5,3	5,1	4,9	4,8	4,7	4,5	4,4
2,5	6,9	6,6	6,3	6,1	5,9	5,6	5,4	5,3	5,0	4,9	4,8	4,6	4,5
2,5	7,0	6,7	6,4	6,2	6,0	5,7	5,5	5,4	5,1	5,0	4,9	4,7	4,6
2,6	7,3	7,0	6,7	6,4	6,2	5,9	5,8	5,6	5,4	5,2	5,1	4,9	4,7
2,8	7,9	7,6	7,2	6,9	6,7	6,4	6,2	6,0	5,8	5,6	5,4	5,2	5,1
3,0	8,4	8,1	7,7	7,4	7,2	6,9	6,6	6,4	6,2	6,0	5,8	5,6	5,5

El flujo que se muestra (l/min) para una superficie de área corporal (BSA, por sus siglas en inglés) y hemoglobina determinadas es el mínimo requerido para lograr una DO_2 i de 280 ml/min/m². Todos los valores asumen saturación de 100% y una PaO_2 de 200 mmHg. Srey et al⁷.

Tabla 4. Comparación de flujo requerido (l/min) para determinar en GDP versus el flujo requerido basado en el tradicional índice cardíaco para pacientes con la misma superficie corporal

BSA (m ²)	Flujo basado en perfusión dirigida a objetivos (GDP)					Flujo basado en el índice cardíaco		
	Hemoglobina (g/dl)					Índice cardíaco		
	7	8	9	10	11	2	2,2	2,4
1,5	4,2	3,7	3,3	3,0	2,7	3,0	3,3	3,6
1,6	4,5	4,0	3,5	3,2	2,9	3,2	3,5	3,8
1,7	4,8	4,2	3,8	3,4	3,1	3,4	3,7	4,1
1,8	5,1	4,5	4,0	3,6	3,3	3,6	4,0	4,3
1,9	5,3	4,7	4,2	3,8	3,5	3,8	4,2	4,6
2,0	5,6	4,9	4,4	4,0	3,7	4,0	4,4	4,8
2,1	5,9	5,2	4,6	4,2	3,8	4,2	4,6	5,0
2,2	6,2	5,4	4,9	4,4	4,0	4,4	4,8	5,3
2,3	6,5	5,7	5,1	4,6	4,2	4,6	5,1	5,5
2,4	6,7	5,9	5,3	4,8	4,4	4,8	5,3	5,8
2,5	7,0	6,2	5,5	5,0	4,6	5,0	5,5	6,0

BSA: superficie de área corporal. Srey et al⁷.

Durante la CEC se intervienen las variables ya descritas: hematocrito, equilibrio ácido-base, temperatura, aporte de O_2 , producción de CO_2 , flujo sanguíneo (l/min), que influirán en la entrega de oxígeno del paciente. La manipulación en cualquiera de estas variables debe estar dirigida a mantener un equilibrio del medio interno, para mantener constante el DO_2 en 280 ml/min/ m^2 y asegurar la perfusión óptima en tiempo real (figuras 2 y 3).

CONCLUSIONES

En los últimos 10 años la técnica de GDP ha alcanzado avances significativos, demostrando su capacidad para obtener mejores resultados clínicos al optimizar la microperfusión durante la CEC. Los estudios descritos han demostrado consistentemente los beneficios de perfeccionar la perfusión durante el *bypass* cardiopulmonar, lo que nos ha llevado a una franca disminu-

ción de complicaciones y así, a mejores resultados. Sin embargo, la aplicación de GDP no está exenta de desafíos, ya que su implementación exitosa requiere una colaboración estrecha entre el equipo de cirujanos, anestesiólogos y perfusionistas para la recopilación y análisis de datos en tiempo real a través de sistemas de monitoreo avanzado y personal capacitado para interpretarlos^{1,3,16}.

Aunque GDP muestre resultados prometedores, la falta de estandarización en los criterios de "perfusión óptima" es un desafío persistente. La variabilidad en la definición de objetivos y parámetros puede dificultar la comparación entre estudios y limitar la aplicabilidad clínica generalizada, por lo que se hace necesario establecer criterios de evaluación uniformes y realizar investigaciones sólidas para validar los beneficios clínicos de GDP.

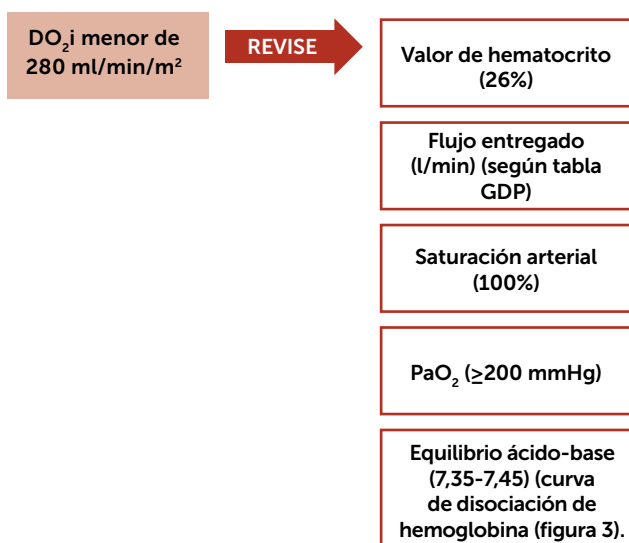


Figura 2. Durante la circulación extracorpórea frente a una caída del DO_2 , debe revisar y perseguir los parámetros señalados.

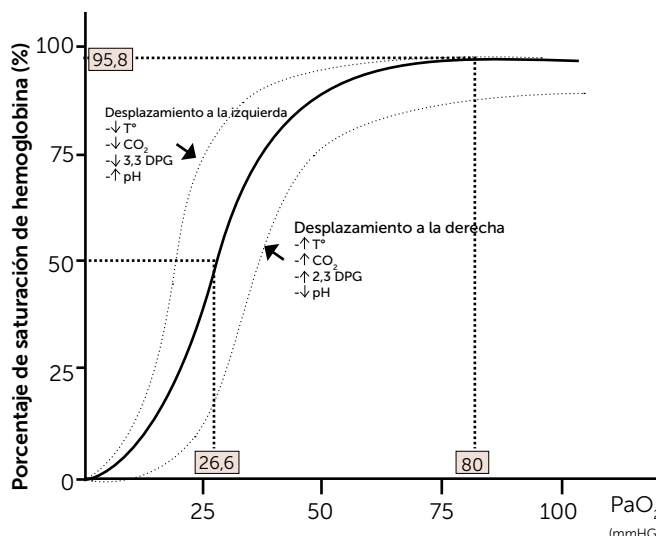


Figura 3. Curva de disociación de la hemoglobina⁵.

Declaración de conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflictos de intereses

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Calabuig AM, Perelló CA, Vázquez JF, Simón VG, Cerezo LC. Perfusión óptima: revisión basada en la evidencia científica reciente. [Optimal perfusion: Review based on recent scientific evidence]. *Rev Esp Perfusión*. 2019;67:13-27.
2. Santos Jiménez JC, Jaime-Borrego JM, González-Navarro JM. Perfusión dirigida a objetivos: revisión bibliográfica. *Rev Esp Perfusión*. 2019;66:5-12.
3. Rubio M. Circulación extracorpórea. Conceptos Básicos. *Rev CONAREC*. 2014;30(125):146-150.
4. Tineo Drove T, Oliva Illescas N, Utanda Hervás J, de Antonio Anton N. Gradiente de CO_2 veno arterial como herramienta en la monitorización de la hipoperfusión tisular en circulación extracorpórea. [Gradient of CO_2 venoarterial as a tool in the monitoring of tissue hypoperfusion in extracorporeal circulation]. *Rev Esp Perfusión*. 2021;71:5-10.
5. Regueira T, Andresen M. Manipulación del transporte y consumo de oxígeno en la sepsis. [Management of oxygen delivery and consumption during sepsis]. *Rev Med Chil*. 2010;138(2):233-242. Spanish.

6. Recio Recio M, Santos palomino MC, Casado Sánchez C, Santos Palominos JC, Cabrera López A, Cid Vivas R. Análisis de la monitorización de gases en línea CDI500® y SYSTEM M-M4®. ¿Son herramientas comparables para la práctica clínica de la perfusión? *Rev Esp Perfusión*. 2019;66:21-28.
7. Srey R, Rance G, Shapeton AD, Leissner KB, Zenati MA. A Quick Reference Tool for Goal-Directed Perfusion in Cardiac Surgery. *J Extra Corpor Technol*. 2019;51(3):172-174.
8. Ranucci M, Castelvechchio S, Ditta A, Brozzi S, Boncilli A, Baryshnikova E; Surgical and Clinical Outcome Research (SCORE) group. Transfusions during cardiopulmonary bypass: better when triggered by venous oxygen saturation and oxygen extraction rate. *Perfusion*. 2011;26(4):327-333. doi: 10.1177/0267659111407539
9. Hu BY, Laine GA, Wang S, Solis RT. Combined central venous oxygen saturation and lactate as markers of occult hypoperfusion and outcome following cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2012;26(1):52-57. doi: 10.1053/j.jvca.2011.07.021
10. Ranucci M, Carboni G, Cotza M, de Somer F. Carbon dioxide production during cardiopulmonary bypass: pathophysiology, measure and clinical relevance. *Perfusion*. 2017;32(1):4-12. doi: 10.1177/0267659116659919
11. Ranucci M, Isgro G, Romitti F, Mele S, Biagioli B, Giomarelli P. Anaerobic metabolism during cardiopulmonary bypass: predictive value of carbon dioxide derived parameters. *Ann Thorac Surg*. 2006;81(6):2189-2195. doi: 10.1016/j.athoracsur.2006.01.025
12. Ranucci M, Aloisio T, Carboni G, Ballotta A, Pistuddi V, Menicanti L, et al.; Surgical and Clinical Outcome REsearch (SCORE) Group. Acute Kidney Injury and Hemodilution During Cardiopulmonary Bypass: A Changing Scenario. *Ann Thorac Surg*. 2015;100(1):95-100. doi: 10.1016/j.athoracsur.2015.02.034
13. Condello I, Triggiani V, Speziale G. Carbon Dioxide Production Assessment for Improving Acute Kidney Injury Predictors. *Ann Thorac Surg*. 2022;113(3):1054. doi: 10.1016/j.athoracsur.2021.03.006
14. 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*. 2018;156(5):1918-1927.e2. doi: 10.1016/j.jtcvs.2018.04.045
15. Lema G, Canessa R, Urzúa J, Jalil R, Morán S, Carvajal C, et al. Función renal en cirugía cardíaca con circulación extracorpórea: Pacientes valvulares y coronarios. [Renal function during cardiac surgery with extracorporeal circulation]. *Rev Med Chile*. 2008;136(4):459-566. Spanish.
16. Yametti R. Calidad y seguridad en Perfusión. *Rev en Bomba. Asociación Latinoamericana de Perfusión*. 2017;1(2):64-70.