



Correlación del gasto cardiaco por fórmula de continuidad a través de ecocardiografía transtorácica vs termodilución por Swan-Ganz en la Unidad de Cuidados Intensivos

Correlation of cardiac output by continuity formula through transthoracic echocardiography vs thermodilution by Swan-Ganz in the Intensive Care Unit

Correlação do débito cardíaco pela fórmula de continuidade através da ecocardiografia transtorácica vs termodiluição por Swan-Ganz na unidade de terapia intensiva

Diana María Espinosa Romero,* Felipe De Jesús Montelongo,* Josafat J Gutiérrez de la Cruz,* Jonathan Galindo Ayala,* Nancy Verónica Alva Arrollo,† Luis Eduardo Segura Medina*

RESUMEN

Introducción: la termodilución se considera el estándar de referencia para la medición del gasto cardiaco. Durante las últimas décadas la aparición de otros métodos menos invasivos ha resultado útil para determinar el gasto cardiaco. El objetivo del estudio es analizar la correlación entre el gasto cardiaco obtenido por ecocardiografía transtorácica mediante el método de continuidad y termodilución pulmonar por catéter de Swan-Ganz.

Material y métodos: estudio prospectivo, descriptivo, transversal realizado en la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital General Las Américas. A los pacientes se les colocó catéter Swan-Ganz; se realizó medición de gasto cardiaco por ecocardiografía; posteriormente cuantificación de gasto cardiaco por termodilución pulmonar durante marzo de 2021 a agosto de 2022.

Resultados: se compararon 58 mediciones de gasto cardiaco (GC) por Swan-Ganz con una mediana de 4.95 (rango 3.1-7.2), y GC por ecocardiografía con una mediana 4.93 (rango 3.2-7.0). La diferencia de medias para la medición de gasto cardiaco por Swan-Ganz fue de 5.20 (95% IC 4.56-5.84, $p < 0.0001$), comparado con gasto cardiaco por termodilución 5.19 (95% IC 4.56-5.81, $p < 0.0001$).

Conclusiones: existe correlación significativa entre el gasto cardiaco medido por termodilución y ecocardiografía; se le considera una alternativa confiable para la determinación del gasto cardiaco.

Palabras clave: gasto cardiaco, termodilución pulmonar, Swan-Ganz, ecocardiografía.

Keywords: cardiac output, pulmonary thermodilution, Swan-Ganz, echocardiography.

RESUMO

Introdução: a termodiluição é considerada o padrão de referência para a medida do débito cardíaco. Nas últimas décadas, o surgimento de outros métodos menos invasivos mostrou-se útil para a determinação do débito cardíaco. O objetivo do estudo é analisar a correlação entre o débito cardíaco obtido pela ecocardiografia transtorácica pelo método da continuidade e a termodiluição pulmonar pelo cateter de Swan-Ganz.

Material e métodos: estudo prospectivo, descritivo, transversal, realizado na Unidade de Terapia Intensiva do Hospital Geral Las Américas, onde foi colocado cateter de Swan-Ganz; o débito cardíaco foi medido por ecocardiografia; posteriormente, quantificação do débito cardíaco por termodiluição pulmonar no período de março de 2021 a agosto de 2022.

Resultados: foram comparadas 58 medidas do débito cardíaco por Swan-Ganz com uma mediana de 4.95 (intervalo 3.1-7.2), e GC por ecocardiografia com uma mediana de 4.93 (intervalo 3.2-7.0). A diferença média para medição do débito cardíaco por Swan-Ganz foi de 5.20 (IC 95% 4.56-5.84 $p < 0.0001$), em comparação com o débito cardíaco por termodiluição 5.19 (95% CI 4.56-5.81 $p < 0.0001$).

Conclusões: existe uma correlação significativa entre o débito cardíaco medido por termodiluição e ecocardiografia; considerando-o uma alternativa confiável para a determinação do débito cardíaco.

Palavras-chave: debito cardíaco, termodiluição pulmonar, Swan-Ganz, ecocardiografia.

ABSTRACT

Introduction: thermodilution considered the reference standard for measuring cardiac output. During the last decades, the appearance of other less invasive methods has been useful to determine cardiac output. The aim of the study is to analyze the correlation between cardiac output obtained by transthoracic echocardiography by continuity method and pulmonary thermodilution by Swan-Ganz catheter.

Material and methods: prospective, descriptive, cross-sectional study carried out in the Intensive Care Unit of the Hospital General Las Américas, the patients underwent a Swan-Ganz catheter; cardiac output was measured by echocardiography; subsequently, quantification of cardiac output by pulmonary thermodilution during March 2021 to August 2022.

Results: fifty-eight measurements of cardiac output by Swan-Ganz with a median of 4.95 (range 3.1-7.2) and CO by echocardiography with a median of 4.93 (range 3.2-7.0) were compared. The difference in means for the measurement of cardiac output by Swan-Ganz was 5.20 (95% CI 4.56-5.84 $p < 0.0001$), compared to cardiac output by thermodilution 5.19 (95% CI 4.56-5.81 $p < 0.0001$).

Conclusions: there is a significant correlation between cardiac output measured by thermodilution and echocardiography; being considered a reliable alternative for the determination of cardiac output.

INTRODUCCIÓN

La cateterización de la arteria pulmonar tuvo sus inicios alrededor de 1945; sin embargo, no fue hasta el año de 1970 cuando Harold James Swan y William Ganz, basados en los antecedentes descritos por los experimentos de Forsmann, Lategola y Rahn, crearon el sistema de catéter flexible con balón distal inflexible en humanos, teniendo como motivación el desarrollo de una técnica para el cuidado y estudio de pacientes cardiopatas agudos, estableciendo los primeros estudios con éxito logrando difundir como opción *bed side* en unidades de cuidados críticos para monitoreo de pacientes hemodinámicamente inestables.¹

La obtención de parámetros hemodinámicos por termodilución pulmonar a través de catéter Swan-Ganz (SG) proporciona información con valores de sensibilidad altamente confiables en casos de falla cardiaca aguda. Presenta, además, mayor precisión en la estimación de la precarga en comparación con la presión venosa central en pacientes con disfunción sistólica ventricular.² Desde la introducción del catéter SG, la

* Hospital General Las Américas, Instituto de Salud del Estado de México. México.

† Hospital Ángeles Mocol. México.

Recibido: 02/09/2022. Aceptado: 17/09/2022.

Citar como: Espinosa RDM, De Jesús MF, Gutiérrez de la Cruz JJ, Galindo AJ, Alva ANV, Segura MLE. Correlación del gasto cardiaco por fórmula de continuidad a través de ecocardiografía transtorácica vs termodilución por Swan-Ganz en la Unidad de Cuidados Intensivos. Med Crit. 2022;36(7):472-475. <https://dx.doi.org/10.35366/108715>

termodilución se ha convertido en el estándar de referencia para la medición del gasto cardiaco en la práctica clínica. Posteriormente la aparición de otros métodos menos invasivos ha generado un declive en su uso.

Otro método validado para medición de gasto cardiaco se basa en la ecocardiografía en modo-M, bidimensional o tridimensional vía transtorácica o transesofágica,³ que junto con la aplicación del Doppler, proporciona información valiosa tanto cuantitativa como cualitativa de la función cardiaca del paciente crítico.⁴ Con la información obtenida de los datos volumétricos, los gradientes de presión, la estimación de las áreas valvulares y las presiones intracardiacas, con una precisión validada con datos derivados de métodos invasivos; conociendo la velocidad del flujo y simplificando la ecuación de continuidad se puede calcular el gradiente de presión entre las cavidades y el gasto cardiaco.⁵⁻⁸

Este método ha mostrado correlaciones globales aceptables con las determinaciones invasivas con gran variabilidad individual y precisando un tracto de salida ventricular izquierdo (TSVI) normal y la ausencia de insuficiencia aórtica significativa.^{9,10}

En los pacientes en quienes, transcurridas de tres a seis horas desde el inicio del tratamiento, se presenten signos de choque refractario como hiperlactatemia persistente, oliguria, necesidad de fármacos vasoactivos a dosis crecientes o algún dato de inestabilidad hemodinámica, es necesaria una información más detallada sobre la función cardiaca que permita entender por qué el tratamiento inicial no ha tenido éxito y, por lo tanto, individualizar y guiar de forma más adecuada las medidas de reanimación. El análisis de la función ventricular izquierda constituye uno de los elementos básicos y el primero en el cual se debe evaluar previo a la administración de volumen y/o soporte inotrópico.¹¹

Si lo asociamos a otros valores que nos aporten información sobre los determinantes del gasto cardiaco y el equilibrio entre el aporte y el consumo de oxígeno, podremos tener una idea más exacta de lo adecuado o no de la función cardiaca global.^{12,13}

Dicho monitoreo debe incluir el GC y ha de hacerse de forma precoz una vez que el paciente haya sido resistente a las medidas iniciales.^{14,15}

MATERIAL Y MÉTODOS

Se trata de un estudio prospectivo, descriptivo, correlacional, ciego y transversal realizado en la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital General Las Américas en el periodo de marzo de 2021 a agosto de 2022. A los pacientes seleccionados se les colocó catéter SG, previo consentimiento informado, por medio de venodisección antecubital derecha o a través de introductor hemostático de 10 Fr, se instaló catéter de 7 Fr de diámetro en la arteria pulmonar por curvas y presiones intracavitarias o

guiada por ultrasonido.¹⁶ De manera posterior, se realizó determinación de gasto cardiaco por ecocardiografía transtorácica (EcoTT) por método de continuidad, obteniendo el diámetro del anillo aórtico y la integral velocidad tiempo a través del tacto de salida del ventrículo izquierdo, se tomó un promedio de tres mediciones en ritmo sinusal para posteriormente multiplicarse por la frecuencia cardiaca obtenida por monitor utilizando un transductor sectorial de 2.1 MHz con ultrasonido VINNO A5; e inmediatamente después se realizó cuantificación de gasto cardiaco por termodilución pulmonar con solución salina a medio ambiente con 10 mL de volumen, y con corrección de la constante computacional, según la marca del catéter, se tomó un promedio de cinco gastos cardiacos. El investigador que realizó la termodilución fue diferente del que realizó la EcoTT para al final integrar ambos datos por el investigador principal. Todos los estudios de ultrasonografía fueron validados por un experto en EcoTT, certificado por la *World Interactive Network Focused On Critical Ultrasound* (WINFOCUS).

Como criterios de inclusión, se tomaron pacientes de 16 años en adelante con inestabilidad hemodinámica y criterios para uso de catéter SG, según las guías de Chatterjee y del consenso de choque circulatorio y monitoreo hemodinámico de la *Task Force of the European Society of Intensive Care Medicine*.¹⁷

Criterios de inclusión: pacientes mayores de 16 años, diagnóstico de choque c/consentimiento informado, expediente completo, pacientes con ritmo sinusal por monitoreo cardiaco.

Criterios de eliminación: expediente incompleto, disfunción de catéter, mala ventana ecocardiográfica, tiempo no mayor de cinco minutos entre ambas mediciones, dificultad para colocación de catéter Swan-Ganz.

Criterios de exclusión: pacientes menores de 16 años, ruptura de *septum*, antecedentes de aneurisma, malformaciones arteriovenosas congénitas.

El estudio fue aprobado por el comité de ética e investigación, cumpliendo con la Ley General de Salud y la Declaración de Helsinki.

Para el cálculo de muestra, de acuerdo con Mercado y colaboradores que en 2017 encontraron correlación de R^2 95% con una $p < 0.0001$, se usó el programa estadístico G*Power para conocer el tamaño muestral, empleando un tamaño del efecto de 0.7, error alfa de 0.05 y poder estadístico de 0.80.

Por ser un estudio de asociación (correlación) se utilizó la fórmula de eventos por variable, $10 \times$ (número de variables independientes/ frecuencia del desenlace).

Resultando un total de 21 pacientes que cumplieran con el desenlace; se calculó 20% de pérdidas. Se agregaron al final 25 pacientes que cumplieran con el desenlace, la muestra llegó a 58 pacientes.

Las variables cualitativas se expresaron en frecuencia y percentiles. Para las variables cuantitativas, por

su tipo de distribución, se aplicó la prueba Kolmogorov-Smirnov en los datos de distribución normal (desviación estándar y media) y en los datos de libre distribución paramétrica (mediana y rango intercuartilar). Para el análisis univariado se aplicó la prueba t de Student con el fin de diferenciar las medias entre grupos de acuerdo con la significancia de las variables, así como para el análisis multivariado de tipo correlacional obteniendo el OR con una significancia de valor $p < 0.05$.

RESULTADOS

Se incluyeron 58 pacientes con diagnóstico de choque séptico, todos con patrón hemodinámico de tipo distributivo, de los cuales, 55.2% (32) fueron hombres. La media de edad de los pacientes fue de 45.2 ± 11.5 años, respecto al índice de masa corporal (IMC) se encontró mayor prevalencia en el grupo de pacientes con sobrepeso (IMC 28); con uso de vasopresores fueron 44 (75.9%), inotrópicos más vasopresores 14 (24.1%). El principal diagnóstico de ingreso a la unidad de cuidados intensivos fue de choque séptico secundario a neumonía que fue de 13 (22.4). En la *Tabla 1* se describen las características demográficas de los pacientes incluidos.

Se compararon 58 mediciones de GC por SG, reportándose los resultados obtenidos en la *Tabla 2*.

Se encontró una correlación altamente significativa entre las medidas obtenidas de GC por SG y por EcoTT ($r^2 = 0.99$; $p < 0.0001$) (*Figura 1*).

La mediana de sesgo evidenció 0.2 L/min (200 mL). Por lo tanto, realizar GC por ecografía transtorácica presentó una fuerte correlación respecto al GC medido por termodilución.

Tabla 1: Características demográficas de la población (N = 58).

Variables	n (%)
Género	
Masculino	32 (55.2)
Femenino	26 (44.8)
Edad (años), media \pm DE	45.2 ± 11.5
IMC (kg/m^2), media \pm DE	28 ± 3.2
Tipo de choque	
Distributivo (séptico)	58 (100.0)
Comorbilidades	
DM	4 (6.9)
HAS	8 (13.2)
DM y HAS	4 (6.9)
Cardiopatía isquémica	7 (12.0)
Reumatológico	4 (6.9)
Sin comorbilidades	18 (15.0)
Aminas	
Vasopresores	44 (75.9)
Inotrópico con vasopresor	14 (24.1)

IMC = índice de masa corporal. DE = desviación estándar. DM = diabetes mellitus. HAS = hipertensión arterial sistémica.

Tabla 2: Análisis de asociación de GC por EcoTT versus GC por SG.

	Mediana (RIC)	DM	IC 95%	p
GC EcoTT	4.95 (3.1-7.2)	5.20	4.56-5.84	0.001
GC termodilución	4.93 (3.2-7.0)	5.19	4.56-5.81	0.001

GC = gasto cardiaco. EcoTT = ecografía transtorácica. RIC = rango intercuartilar. DM = diferencia de medias. IC 95% = intervalo de confianza a 95%.

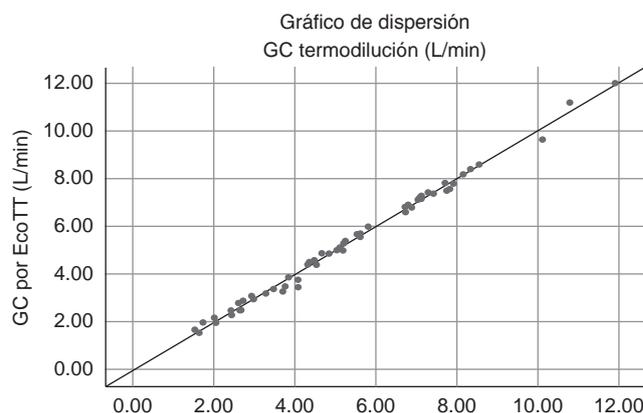


Figura 1: Correlación entre gasto cardiaco (GC) por ecografía transtorácica (EcoTT) y por termodilución ($r^2 = 0.99$; $p < 0.0001$).

DISCUSIÓN

Desde la década de los años 90 han existido estudios donde se compara la ecocardiografía transesofágica con la termodilución para la medición del GC;¹⁸⁻²⁰ sin embargo, se debe aclarar el hecho de que en estos estudios la obtención del GC se llevó a cabo mediante ecocardiografía transesofágica utilizando otras estructuras de referencia para la medición del volumen sistólico, como fue la medición del flujo sanguíneo en la válvula mitral por Axler y colaboradores en 2003 sin emplear la fórmula de continuidad, siendo en su mayoría técnicas complejas para su uso en una unidad de cuidados intensivos; a pesar de esto la correlación fue buena. Sin embargo, en el año de 1994 Darmon y colaboradores²¹ en su estudio obtuvieron la medición de GC con el método de continuidad a través del anillo aórtico, y al compararlo con la termodilución mostró una muy buena correlación; sin embargo, también fue por ecografía transesofágica, lo cual se correlaciona con los hallazgos en este estudio, ya que el análisis estadístico entre la determinación de GC medido por EcoTT y por termodilución obtuvo un valor de p significativo, determinando que la EcoTT es un método confiable para estimar el GC en pacientes críticos.

Al momento no se cuenta con estudios que comparen la medición de GC por ecografía transtorácica, a excepción de Mercado y colaboradores²² en un estudio francés en el *Amiens University Hospital*, quienes en 2017 realizaron un estudio que incluyó 38 pacientes, y

que al compararlo con nuestra población, las características demográficas fueron similares; se realizó de igual manera un abordaje transtorácico utilizando la medición del tracto de salida del ventrículo izquierdo y mediante un método de continuidad se obtuvo el cálculo de GC con una correlación significativa ($r^2 = 0.95$; $p < 0.0001$). Sin embargo, una limitante de este estudio es que la determinación de GC tuvo una diferencia de 24 horas entre la medición del GC obtenido por SG y la EcoTT, lo cual conlleva un sesgo importante en un paciente críticamente enfermo y con inestabilidad hemodinámica, en comparación con el nuestro, donde la determinación se hizo de manera inmediata, cegada y considerando que fue un estudio con una población mayor (58 pacientes) obteniendo un valor de p altamente significativo.

CONCLUSIONES

Considerando que en nuestro trabajo se corrigieron algunos detalles descritos en estudios previos con una n mayor que la calculada y que el análisis estadístico demostró una fuerte correlación entre el GC obtenido por SG y EcoTT, podemos afirmar que la ecocardiografía transtorácica cuenta con una precisión equiparable al método considerado estándar de referencia, con la ventaja de ser un método no invasivo y exacto para la evaluación del GC, lo que disminuye las complicaciones y tiempo necesario para la instalación y mantenimiento del monitoreo invasivo a través de un SG a corto y mediano plazo, así como las ventajas en comparación con la ecocardiografía transesofágica, ya que ésta es un método más costoso y de menor disponibilidad en las unidades de cuidados intensivos. Cabe destacar que no se pretende establecer la premisa de la sustitución del método de referencia por otro, sino contar con opciones de monitoreo prácticas y accesibles sustentadas en evidencia de fiabilidad y viabilidad de monitoreo hemodinámico de pacientes críticamente enfermos de forma no invasiva.

REFERENCIAS

1. Chatterjee K. The Swan-Ganz catheters: Past, present, and future. *Circulation*. 2009;119:147-152.
2. Stevenson L, Perloff J. The limited reliability of physical signs for estimating hemodynamics in chronic heart failure. *JAMA*. 1989;261:884-888.
3. Ayuela J, Zabalegui A. *Ecocardiografía modo M y bidimensional*. En: Ayuela JM, López Pérez JM, Fiol M, editores. El ecocardiograma normal. Ecocardiografía en el paciente crítico. Barcelona: Springer-Verlag Ibérica; 2000. pp. 33-44.
4. Guerrero M, Lesmes A, Castillo J. *Ecocardiografía Doppler: pulsado, continuo y color*. En: Ayuela JM, López Pérez JM, Fiol M, editores. El ecocardiograma normal. Ecocardiografía en el paciente crítico. Barcelona: Springer-Verlag Ibérica; 2000. pp. 45-62.
5. Feigenbaum's H. *Hemodynamics*. In: Feigenbaum H, Armstrong WF, Ryan T, editors. Echocardiography. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2005. pp. 214-245.
6. García E, Campos A, Gobernado M. Ecocardiografía en la unidad de cuidados intensivos. *Med Intensiva*. 2008;32:236-247.

7. Rhodes A, Cecconi M, Hamilton M, Poloniecki J, Woods J, Boyd O, et al. Goal-directed therapy in high-risk surgical patients: a 15-year follow-up study. *Intensive Care Med*. 2010;36(8):1327-1332.
8. Berthelsen PG, Eldrup N, Nilsson LB, Rasmussen JP. Thermodilution cardiac output. Cold vs room temperature injectate and the importance of measuring the injectate temperature in the right atrium. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2002;46(9):1103-1110.
9. Felbinger TW, Reuter DA, Eltzschig HK, Bayerlein J, Goetz AE. Cardiac index measurements during rapid preload changes: a comparison of pulmonary artery thermodilution with arterial pulse contour analysis. *J Clin Anesth*. 2005;17(4):241-248.
10. Monnet X, Richard C, Teboul J. The pulmonary artery catheter in critically ill patients. Does it change outcome? *Minerva Anestesiologica*. 2004;70(4):219-224.
11. Nilsson L, Nilsson J, Skovgaard L, Berthelsen P. Thermodilution cardiac output—are three injections enough? *Acta Anaesthesiol Scand*. 2004;48:1322-1327.
12. Moller-Sorensen H, Hansen KL, Ostergaard M, Andersen LW, Moller K. Lack of agreement and trending ability of the endotracheal cardiac output monitor compared with thermodilution. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2012;56(4):433-440.
13. Friesecke S, Heinrich A, Abel P, Felix S. Comparison of pulmonary artery and aortic transpulmonary thermodilution for monitoring of cardiac output in patients with severe heart failure: validation of a novel method. *Crit Care Med*. 2009;37:119-123.
14. Tibby SM, Hatherill M, Marsh MJ, Morrison G, Anderson D, Murdoch IA. Clinical validation of cardiac output measurements using femoral artery thermodilution with direct Fick in ventilated children and infants. *Intensive Care Med*. 1997;23(9):987-991.
15. Michard F. Looking at transpulmonary thermodilution curves: the crosstalk phenomenon. *Chest*. 2004;126:656-657.
16. Torres P, Montelongo F, Nava L, Carmona D. Eficacia y seguridad de la técnica de colocación de catéter de arteria pulmonar guiado por ultrasonido. *Med Crit*. 2018;32(2):76-84.
17. Cecconi M, De Backer D, Antonelli M, Beale R, Bakker J, Hofer C, et al. Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med*. 2014;40(12):1795-1815.
18. Axler O, Megarbane B, Lentschener C, Fernandez H. Comparison of cardiac output measured with echocardiographic volumes and aortic Doppler methods during mechanical ventilation. *Intensive Care Med*. 2003;29(2):208-217.
19. Estagnasié P, Djedaini K, Mier L, Coste F, Dreyfuss D. Measurement of cardiac output by transesophageal echocardiography in mechanically ventilated patients. Comparison with thermodilution. *Intensive Care Med*. 1997;23(7):753-759.
20. Poelaert J, Schmidt C, Van Aken H, Hinder F, Mollhoff T, Loick HM. A comparison of transoesophageal echocardiographic Doppler across the aortic valve and the thermodilution technique for estimating cardiac output. *Anaesthesia*. 1999;54(2):128-136.
21. Darmon PL, Hillel Z, Mogtader A, Mindich B, Thys D. Cardiac output by transesophageal echocardiography using continuous-wave Doppler across the aortic valve. *Anesthesiology*. 1994;80(4):796-805; discussion 25A.
22. Mercado P, Maizel J, Beyls C, Titeca-Beauport D, Joris M, Kontar L, et al. Transthoracic echocardiography: an accurate and precise method for estimating cardiac output in the critically ill patient. *Crit Care [Internet]*. 2017;21(1). <http://dx.doi.org/10.1186/s13054-017-1737-7>.

Patrocinios. Relación de conflictos de intereses: los recursos utilizados para financiamiento de este trabajo de investigación fueron proporcionados directamente por los autores del mismo, sin patrocinios externos. Por tanto, se declaran sin conflicto de intereses.

Correspondencia:

Dra. Diana Maria Espinosa Romero

E-mail: diana.espinosa14@hotmail.com