

Comparación del gasto cardíaco medido a través del volumen sistólico en modo bidimensional versus ecuación de continuidad en pacientes de terapia intensiva del Hospital General «Las Américas»

Elena Mejía Ruiz,* Viviana Román Simón,* Felipe de Jesús Montelongo,* Aurea Carmona Domínguez*

RESUMEN

La ecocardiografía realizada por especialistas no radiólogos es una herramienta que contribuye al diagnóstico y monitoreo de los pacientes críticos, además de ser una herramienta económica, precisa, no invasiva y que se puede realizar a la cabecera del paciente. La medida del gasto cardíaco se refiere a la cantidad de sangre que sale de los ventrículos del corazón a la circulación mayor o menor; en el ámbito de la medicina crítica, es una medida muy importante para verificar el diagnóstico etiológico del estado de choque y además se utiliza para guiar el manejo de los pacientes. Nuestro estudio comparó la medida de gasto cardíaco medido a través del volumen sistólico en modo bidimensional versus ecuación de continuidad.

Palabras clave: Volumen sistólico modo bidimensional, método de Simpson, ecuación de continuidad, gasto cardíaco.

SUMMARY

The echocardiography performed by non-radiological specialists is a tool that contributes to the diagnosis and monitoring of critical patients, as well as being an inexpensive, accurate, non-invasive tool that can be performed at the patient's bedside. The measurement of cardiac output refers to the amount of blood sold from the ventricles of the heart to the major or minor circulation in the field of critical medicine is a very important measure to verify the diagnosis and the state of the shock syndrome and if it is used to guide the management of patients, our study compared the measurement of cardiac output through systolic volume in two-dimensional mode versus the continuity equation.

Key words: Systolic volume, two-dimensional mode, Simpson's method, continuity equation, cardiac output.

RESUMO

O ecocardiograma realizado por não radiologistas é uma ferramenta que contribui para o diagnóstico e acompanhamento de pacientes críticos, além de ser uma ferramenta não invasiva, de baixo custo e que pode ser realizada à beira do leito. A medida do débito cardíaco refere-se à quantidade de sangue que sai dos ventrículos cardíacos, até a maior ou menor circulação. No campo da medicina crítica é uma medida muito importante para verificar o diagnóstico etiológico do estado de choque e também é utilizada para orientar o manejo dos pacientes. Nossa estudo comparou a medida do débito cardíaco medida através do volume sistólico no modo bidimensional versus a equação de continuidade.

Palavras-chave: Volume sistólico modo bidimensional, método Simpson, equação de continuidade, débito cardíaco.

INTRODUCCIÓN

Cómo funciona el ultrasonido. El sonido es simplemente la transferencia de energía mecánica de una fuente vibratoria a través de un medio. El ultrasonido se define como sonido de una frecuencia por encima del rango audible humano, es decir, por encima de 20 kHz. Los cristales piezoelectrados dentro de la cara del transductor tienen la propiedad de contraerse o expandirse cuando se aplica una tensión a través de ellos. Una capa delgada de un material piezoelectrónico sintético puede

ser construida para vibrar a una frecuencia dentro del rango requerido. Esto actúa como una fuente de ultrasonido. Un impulso muy corto (aproximadamente 1 µs) es generado por el transductor y transmitido a los tejidos blandos. Después de la generación del «pulso», el transductor no recibe electricidad adicional durante un periodo de tiempo (aproximadamente 100-300 µs) y actúa como un «dispositivo de escucha» para detectar ecos de retorno generados dentro del medio de los tejidos blandos. A medida que la onda de ultrasonido de un ‘eco’ de retorno toca la superficie del transductor, los cristales vibran, provocando que generen una corriente eléctrica alterna. Esto se transmite de nuevo a la máquina de ultrasonido a través de los cables conectados al transductor. La magnitud de la tensión de esta corriente se relaciona directamente con la cantidad de energía transportada por el eco de retorno y determinará el nivel de brillo mostrado para esta posición en el monitor. La máquina mide el tiempo que transcurre entre el pulso y el eco, y usando la velocidad conocida del sonido en los tejidos blandos (1540 m s^{-1}) se puede calcular la distancia al objeto de eco. El ultrasonido de diagnóstico utiliza el principio de impulso eco para construir un sistema de dos dimensiones de las estructuras anatómicas (Figura 1).¹

Los pulsos de sonido son disparados en secuencia desde múltiples cristales adyacentes a través de la cara del transductor. Éstos se utilizan para producir líneas de exploración contiguas a partir de las cuales se puede producir un «marco» de información de modo de brillo (modo B) que representa una sección transversal anatómica bidimensional. Este tipo de imágenes de ultrasonido se denomina «modo de brillo» («modo B» o «escala de grises») porque la intensidad de los ecos está representada por el brillo de la imagen de ultrasonido en esa ubicación (Figura 2).

Cuándo monitorizar el gasto cardíaco en el paciente crítico. Técnicas disponibles. El gasto cardíaco (GC) es considerado un evaluador de la función cardíaca global. Nos proporciona además información sobre la causa del choque y del fallo orgánico, por lo que representa un parámetro fundamental en la evaluación hemodinámica del paciente crítico. A pesar de todo, es necesario integrar el valor del GC con otras variables hemodinámicas (medidas de precarga, contractilidad, postcarga), signos biológicos y parámetros de oxigenación tisular para obtener una información com-

* Instituto de Salud del Estado de México (ISEM), Hospital General «Las Américas», Ecatepec.

Recepción: 07/09/2018. Aceptación: 13/03/2019.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medicographic.com/medicinacritica>

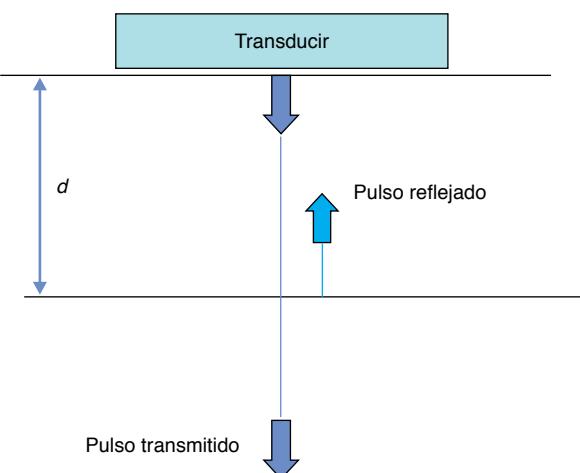


Figura 1: Transmisión de la imagen.

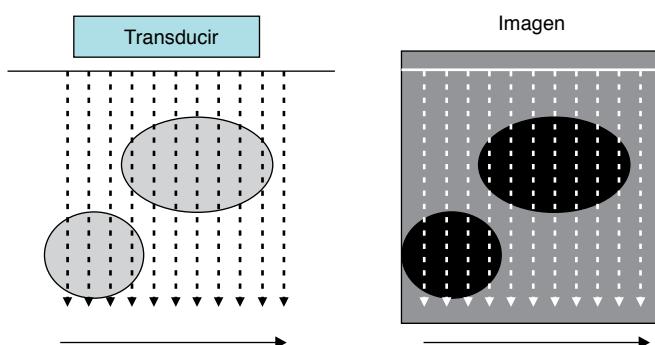


Figura 2: Imagen en modo B.

pleta que pueda guiar nuestras decisiones terapéuticas. Existe poca evidencia científica que apoye una monitorización sistemática del GC en los pacientes críticos. En muchas ocasiones, la situación de inestabilidad hemodinámica puede resolverse utilizando una valoración y monitorización más simple (exploración física, diuresis, presión arterial [PA], estimación de la precarga y parámetros de respuesta a volumen, etc.) sin necesidad de incrementar el grado de medidas o procedimientos. Sin embargo, algunos pacientes persisten con signos de hipoperfusión transcurridas las 3-6 primeras horas desde el inicio del tratamiento. En estos pacientes podría ser útil una monitorización más exhaustiva que pueda proporcionar información más detallada sobre la función cardiovascular y, por consiguiente, que permita entender el fracaso del tratamiento inicial y guiar de forma más adecuada las medidas de resuscitación. Esta monitorización, que ha de incluir el GC, debería ser precoz si el paciente es refractario a las medidas iniciales.²⁻⁴

En la actualidad, disponemos de una gran variedad de métodos para monitorizar el GC con importantes diferencias entre ellos. La estimación del GC de la serie de «Puesta al día en monitorización hemodinámica»

puede encontrar la información referente a los dispositivos disponibles.² Estos dispositivos pueden ser clasificados en función del grado de invasividad. Según esta clasificación, disponemos de sistemas invasivos (CAP), semiinvasivos (termodilución transpulmonar, litiodilución, análisis del contorno de la onda de pulso, Doppler esofágico, etc.) y no invasivos (ecografía, biorreactancia, tecnología Doppler, etc.).⁴

Evidencia de la utilidad de la monitorización hemodinámica en el paciente crítico. La monitorización hemodinámica parte de la premisa de que la detección y el tratamiento de las alteraciones fisiopatológicas de los procesos de la enfermedad crítica deberían traducirse en un mejor pronóstico del paciente. A pesar de la lógica que se desprende de esta afirmación, el concepto «monitorización hemodinámica» ha estado sujeto a inacabables discusiones debido a la falta de trabajos que demuestren que la monitorización, *per se*, mejora el pronóstico de los pacientes. Dicho planteamiento podría ser equívoco, ya que el uso de determinadas variables, como las saturaciones venosas de oxígeno, en algoritmos de reanimación cardiovascular sí ha demostrado su impacto beneficioso sobre el pronóstico de diferentes patologías.²

Por otra parte, demostrar el valor pronóstico aislado de muchas variables hemodinámicas de las que disponemos va a resultar muy complejo. Éste sería el caso, por ejemplo, de la variabilidad de presión de pulso (VPP) y/o de variabilidad de volumen sistólico (VVS) como predictores de la respuesta a la administración de volumen en determinados pacientes. A pesar de su inegable sentido fisiológico, y de haber demostrado de forma concluyente su superioridad frente a las presiones de llenado cardiaco, la falta de trabajos aleatorizados demostrando específicamente que el uso aislado de una de estas variables dinámicas se asocia de forma directa a mejor pronóstico ha propiciado su exclusión de dichas variables en las diferentes recomendaciones y guías de manejo, manteniéndose, sin embargo, las ya mencionadas presiones de llenado cardiaco.

Por lo tanto, el impacto que la monitorización hemodinámica va a tener en nuestros pacientes no sólo dependerá de la fiabilidad de los sistemas utilizados, sino también del conocimiento de sus limitaciones, así como de la comprensión de las bases fisiológicas e interpretación de las variables obtenidas. La correcta utilización de estas variables, ya sea como objetivo o como herramienta en la toma de decisiones, será en última instancia la que determine el impacto beneficioso sobre la evolución del paciente. El razonamiento sería, pues, que la monitorización hemodinámica sólo se traducirá en una mejoría en el pronóstico cuando vaya asociada a un tratamiento que sí haya demostrado beneficio.⁵

Ecocardiografía en paciente crítico. Durante la última década, se ha incrementado significativamente el

reconocimiento del ultrasonido y la ecocardiografía como herramienta para el manejo del paciente crítico. Aquellos pacientes que presentan diversos escenarios clínicos comunes pueden beneficiarse del uso de ecocardiografía. Dentro de los escenarios clínicos más frecuentes que se pueden beneficiar de la ecocardiografía se encuentran: la inestabilidad hemodinámica, hipoxemia inexplicable, posible embolismo pulmonar, daño o disección aórtica y posible endocarditis. Con frecuencia, la aplicación de la ecocardiografía produce un cambio directo en el manejo del paciente. En un estudio realizado a pacientes de cuidados intensivos, los cuales realizaron una ecocardiografía para los escenarios mencionados previamente, a 67% de los pacientes se les cambió o modificó el diagnóstico, 36% recibieron una modificación en el tratamiento, y 14% recibieron una intervención quirúrgica basados en los resultados de la ecocardiografía.⁶

A pesar de que se presentan dificultades en la adquisición de imágenes en paciente Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), un estudio demostró que aproximadamente 97% de los pacientes obtuvieron un resultado que extrajo información valiosa.⁷ Los escenarios que pueden conducir a la adquisición de imágenes inadecuadas incluyen presencia de drenajes torácicos, empaquetamiento quirúrgico, niveles altos de presión positiva al final de la espiración o PEEP ($> 15 \text{ cmH}_2\text{O}$), incremento de peso superior al 10% comparado con el peso de ingreso, obesidad en general e hiperexpansión de tórax por enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).⁸

La Red Mundial Interactiva Enfocada en Ultrasonido Crítico (WINFOCUS, por sus siglas en inglés) ha publicado un documento con su opinión y la acreditación de los médicos de cuidados intensivos. La sociedad cree que todos los médicos que atienden a pacientes de cuidados intensivos pueden beneficiarse de aprender y aplicar, por lo menos ecocardiografía básica.⁹

Métodos de estimación del gasto cardíaco por ecocardiografía. Los valores de normalidad del gasto cardíaco en el adulto sano en torno a 4-6.5 L/min (2.5 L/min por m^2 de superficie corporal sería el índice cardíaco), en reposo. El volumen sistólico va a depender de variables como: 1) Precarga, 2) postcarga y 3) contractilidad miocárdica.

Las causas de hipotensión y choque se pueden separar en bajo gasto y alto gasto cardíaco con estado de baja postcarga. Debido a esto, el cálculo ecocardiográfico del gasto cardíaco puede ayudar a guiar el diagnóstico diferencial. Si el gasto cardíaco es bajo, entonces la causa más probable es hipovolemia o pobre contractilidad. Si el gasto cardíaco es normal o alto, un choque vasodilatador es la causa más probable. Se ha demostrado que la estimación no invasiva del gasto cardíaco en pacientes críticamente enfermos se correlaciona bien con otros estudios de estándar de oro.¹⁰

El uso de ecocardiograma en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) ha demostrado que ofrece mejor información de la función miocárdica que el uso de los índices derivados del catéter en la arteria pulmonar. La ecocardiografía también permite la identificación de las anomalías regionales del movimiento de las paredes cardíacas.¹⁰

VOLUMEN SISTÓLICO EN MODO BIDIMENSIONAL Y CÁLCULO DE GASTO CARDIACO

La forma más frecuente de conocer la función sistólica del ventrículo izquierdo (VI) es calculando la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI), hay diferentes métodos, pero el que ofrece valores más exactos es calcular el volumen sistólico en modo bidimensional o también llamado Simpson modificado.

Simpson modificado: en este método se hacen múltiples cortes al VI en cuatro cámaras y dos cámaras en sistole y en diástole, y se promedian (VI en sistole y VI en diástole).

La obtención del gasto se realiza calculando el volumen eyectivo (volumen sistólico en modo bidimensional o también llamado Simpson modificado) y se multiplica por la frecuencia cardíaca (FC).^{11,12}

$$\text{Gasto cardíaco} = \text{FEVI} (\text{cm}^3) \times \text{FC}$$

Medición del gasto cardíaco mediante ecocardiografía Doppler o ecuación de continuidad (ecuación de Bernoulli)

Fundamentos físicos: Ley de Doppler. La aplicación de ultrasonidos en el rango de 2-10 MHz con capacidad de interactuar con los tejidos humanos (en nuestro caso, su capacidad de reflexión sobre los eritrocitos en movimiento) constituye la base de todos los monitores que utilizan el efecto Doppler para medir el GC. La ley de Doppler expresa la relación matemática existente entre el cambio aparente que se produce en la frecuencia de una onda acústica cuando el emisor y/o el receptor se encuentran en movimiento relativo.

Existen diversos modos de estimar el gasto cardíaco mediante ecocardiografía, que se basan tanto en métodos volumétricos como en la tecnología Doppler en sus distintas modalidades (pulsado, continuo o Doppler color). De las diversas técnicas, la que presenta una mejor concordancia con las mediciones realizadas con la presión capilar pulmonar y es de uso más frecuente en la práctica clínica es la medición del gasto cardíaco por Doppler pulsado en el trácto de salida del ventrículo izquierdo (TSVI),^{13,14} determinando dos variables: el diámetro del TSVI para calcular el área de su sección (AS) y el espectro de velocidad del flujo (ITV) para calcular la distancia latido (DL).^{15,16}

Objetivos de este estudio. *Objetivo general:* Comparar el gasto cardíaco por medio de ecocardiografía Doppler a través de la medición de volumen sistólico en modo bidimensional vs ecuación de continuidad en pacientes de las unidades de cuidados intensivos del Hospital General de Ecatepec «Las Américas».

Objetivos específicos: 1) Demostrar que el gasto cardíaco medido es similar por ambas técnicas. 2) Medir el gasto cardíaco en las principales patologías en la terapia intensiva. 3) Determinar el gasto cardíaco en pacientes con o sin soporte de aminas. 4) Determinar el gasto cardíaco en pacientes con y sin ventilación invasiva.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño del estudio: observacional, prospectivo, transversal y comparativo.

Criterios de inclusión: 1) Pacientes admitidos en el Hospital General de Ecatepec «Las Américas» en el Área de Terapia Intensiva y Terapia Neurointensiva en el periodo de tiempo comprendido del 1 de enero de 2018 al 31 de marzo de 2018. 2) Pacientes entre 18 a 90 años de edad. 3) Pacientes que aceptaron participar en el estudio previa firma de carta de consentimiento informado. 4) Pacientes en los que técnicamente fue rea-

Tabla 1. Conceptualización y operacionalidad de las variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Escala de medición	Indicador
Edad	Tiempo transcurrido desde el nacimiento hasta el momento del estudio en años	Se tomará la edad cumplida en años al momento del estudio	Cuantitativa discreta	Años
Sexo	Condición biológica y fisiológicas que distinguen al hombre de la mujer	Diferencia anatómica entre hombre y mujer	Cualitativa nominal	1. Femenino 2. Masculino
Peso	Fuerza de gravitación universal que ejerce un cuerpo celeste sobre una masa	Se tomará el peso en kilogramos al momento del estudio	Cuantitativa continua	Kilogramos
Talla	Estatura o altura de las personas. Distancia que hay entre la planta de los pies a la parte más alta de la cabeza	Se tomará la talla en centímetros al momento del estudio	Cuantitativa continua	Centímetros
Diagnóstico	Patología por la cual el paciente se encuentra hospitalizado	Se tomará del expediente el diagnóstico principal por el cual el paciente fue ingresado al momento del estudio	Cuantitativa nominal	1. Choque séptico 2. Preeclampsia severa 3. Choque hipovolémico 4. Politraumatizado 5. Traumatismo craneoencefálico severo 6. ARDS/neumonía 7. Choque cardiogénico 8. Cetoacidosis diabética 9. Pancreatitis grave 10. Postoperado de LAPE abdominal
Frecuencia cardíaca	Número de latidos por minuto del corazón de los pacientes participantes	Resultado numérico en latidos por minuto	Cuantitativa discreta	Latidos por minuto
Diámetro de anillo aórtico (DAAO)	Medida del diámetro a nivel del anillo aórtico a no más de 1 a 2 milímetros por arriba de la inserción de la válvula aórtica, obtenida en ecocardiografía en eje largo paraesternal	Resultado numérico en centímetros	Cuantitativa continua	Centímetros
Gasto cardíaco por volumen sistólico en modo bidimensional	Medida obtenida de la siguiente fórmula: $(VS/frecuencia cardíaca)$	Resultado numérico en litros por segundo	Cuantitativa continua	Litros por segundo
Promedio de la integral de velocidad tiempo del trácto de salida de ventrículo izquierdo	Promedio de 3 ciclos cardíacos de la integral obtenida por el software del ultrasonido SonoSite, después de hacer el trazado del espectro Doppler del flujo de sangre en sistole del trácto de salida del ventrículo izquierdo obtenida en ecocardiografía en eje apical 5 cámaras	Resultado numérico en centímetros	Cuantitativa continua	Centímetros
Gasto cardíaco medido por ecografía Doppler con aplicación de la ecuación de continuidad	Medida obtenida de la siguiente fórmula: $(DAAo \cdot 0.785) \cdot (IVTTSVI) \cdot (FC) / 1000$	Resultado numérico en litros por minuto	Cuantitativa continua	Litros/minuto

lizable la ecocardiografía con la obtención de la ventana de eje largo paraesternal y eje apical cinco cámaras.

Criterios de exclusión: 1) Pacientes que no cumplieron los rangos de edad. 2) Pacientes que no aceptaron participar en el estudio previa firma de carta de consentimiento informado. 3) Pacientes en los que técnicamente fue imposible realizar la ecocardiografía con la obtención de la ventana de eje largo paraesternal y eje apical cinco cámaras.

Criterios de eliminación: Pacientes que en cualquier momento quisieron salir del estudio.

Variables. La conceptualización y operacionalidad de las variables se muestran en la *Tabla 1*.

Desarrollo del proyecto. Previa autorización del protocolo por el Comité de Ética y el Departamento de Enseñanza e Investigación del Hospital General Ecatepec «Las Américas», y una vez seleccionadas las pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión del estudio, se les informó del tipo de investigación a realizar y se obtuvo carta de consentimiento informado, la cual fue firmada por su familiar.

Preparación: el paciente debe estar en decúbito supino, se retiran cables de monitoreo convencional que puedan hacer interferencia, posteriormente se coloca gel trasmisor de ultrasonido a nivel apical (punto localizado a nivel medio clavicular izquierdo entre el sexto y el octavo espacio intercostal) y nivel paraesternal (localizado a nivel paraesternal izquierdo entre el segundo y cuarto espacio intercostal), se coloca el transductor sectorial con la marca hacia la derecha para la ventana apical y hacia la izquierda para la ventana paraesternal.

1. Se procedió a obtener con el ultrasonido SonoSite, por medio del transductor sectorial de 3-5 MHz, el eje largo paraesternal y se realizó la medición del anillo aórtico, a nivel de éste o a no más de 1 a 2 mm por arriba de la intersección de la válvula aórtica. El trazo de medida se hizo perpendicular a las paredes del anillo, bajo el borde interno superior a borde interno inferior, obteniendo el resultado en centímetros.
2. Se procedió a obtener por medio de ultrasonido SonoSite el eje apical 5 cámaras. Se colocó el Doppler pulsado en dirección del tracto de salida del ventrículo izquierdo en la parte media, cuidando que la distancia entre éste y la válvula aórtica fuera menor a 30 mm. Se obtuvo el espectro Doppler de flujo de sangre que va hacia la válvula aórtica. Una vez obtenido este espectro, se hizo el trazado de tres ciclos cardíacos para que el software del ultrasonido obtuviera la medida de la integral de velocidad tiempo en cada uno, se tomó el promedio y se reportó en centímetros.
3. Se anotó la frecuencia cardiaca al momento de realizar el estudio ecocardiográfico.
4. Por medio de la medida del anillo aórtico, el promedio de la integral de velocidad tiempo y la frecuencia

cardiaca, se obtuvo el gasto cardíaco aplicando la ecuación de continuidad, obteniendo el resultado en litros por minuto.

5. Con esta información se realizó el llenado de las hojas de recolección de datos.
6. Con las hojas de recolección de datos, posteriormente se realizaron cálculos de promedios, medias aritméticas y desviaciones estándar. Con estos datos se hicieron gráficas y tablas descriptivas, se sacó el coeficiente de correlación de Pearson, se consideró una $r > 0.75$ para inferir una aceptable correlación positiva entre las dos medidas.

Análisis estadístico. Los resultados fueron evaluados a través de estadística descriptiva para variables cualitativas, se emplearon medidas de tendencia central y dispersión, proporción y porcentaje.

Para las variables cuantitativas se utilizaron medidas de tendencia central: media, límite inferior y límite superior. Y de medida de dispersión: desviación estándar.

Se realizó una prueba de correlación para verificar que ambos métodos son equiparables mediante correlación de Pearson y correlación rho de Spearman.

RESULTADOS

Fueron incluidos en el estudio un total de 56 pacientes. El promedio de edad fue 43 años (rango: 19 a 85 años, mediana 34 años, moda: 22 años).

La talla promedio fue 1.61 m (límites: 1.45-1.80 m), el peso promedio 68 kg (rango: 42-98 kg). La frecuencia cardiaca el promedio fue de 94 latidos por minuto (lpm) (límites: 70-128 lpm). La distribución por género fue 24 (43%) mujeres y 32 (57%) hombres.

La *Tabla 2* muestra los diagnósticos de los pacientes. Los más frecuentes fueron choque séptico (18%) y trauma craneoencefálico (16%).

De los 56 pacientes estudiados, sólo 21 (37%) tenían apoyo con vasopresor. Los restantes 35 (63%) no recibieron vasopresores.

Tabla 2. Diagnósticos de los pacientes estudiados.

Patologías	n	%
Choque séptico	10	18
Preeclampsia severa	5	9
Choque hipovolémico	3	5
Politraumatizado	6	11
Trauma craneoencefálico severo	9	16
ADRS/neumonía	4	7
Choque carcinogénico	4	7
Cetoacidosis diabética	5	9
Pancreatitis grave	4	7
Postoperado de LAPE abdominal	6	11
Total	56	100

Abreviaturas: SDRA = Síndrome de dificultad respiratoria aguda. LAPE = laparotomía exploradora.

En cuanto a ventilación mecánica, 30 (53%) recibieron este apoyo; la presión positiva al final de la expiración (PEEP) empleada en estos casos fue menor o igual a 8 mmHg en 23 (41%) pacientes y mayor de 8 mmHg en siete (12%). Los restantes 26 (47%) no recibieron ventilación mecánica.

Correlación entre los métodos de medición del gasto cardíaco. Se obtuvo un gasto cardíaco por volumen sistólico en modo bidimensional en promedio de 5.2 L/min (límites: 2.5 a 8.7 L/min, desviación estándar: 1.38). Mientras que con el método de gasto cardíaco medido por ecografía Doppler con aplicación de la ecuación de continuidad el promedio fue 6.0 L/min (rango: 3.2 a 9.8 L/min, desviación estándar: 1.49).

La correlación de Pearson mostró un coeficiente de 1 para el método de gasto cardíaco por volumen sistólico en modo bidimensional y un coeficiente de correlación de 0.856 para gasto cardíaco medido por ecografía Doppler con aplicación de la ecuación de continuidad. Esto indica una correlación lineal positiva, significativa en el nivel 0.01 (bilateral). Es decir, ambos métodos son parecidos.

Con la correlación rho de Spearman, se obtuvo un coeficiente de correlación 1 para gasto cardíaco por volumen sistólico en modo bidimensional y un coeficiente de correlación de 0.851 para gasto cardíaco medido por ecografía Doppler con aplicación de la ecuación de continuidad. Estos coeficientes señalan una correlación lineal positiva, significativa en el nivel 0.01. Es decir que ambos métodos son parecidos.

DISCUSIÓN

Ante la disminución de la utilización del catéter de la arteria pulmonar debido a la controversia de no mejorar la mortalidad en los pacientes de las unidades de terapia intensiva, la colocación de dicho catéter ha caído en desuso; sin embargo, el gasto cardíaco medido por el catéter de Swan-Ganz sigue siendo el estándar de oro para la medición en tiempo real del gasto cardíaco. La medición de gasto cardíaco por médicos cardiólogos desde los años 60 comparada con la medición de gasto cardíaco mediante ecuación de continuidad, descrita desde los años 90 y publicada por WINFOCUS 2008, para la utilización en el paciente crítico,^{17,18} muestra que ambas se relacionan de forma estadísticamente significativa. La desventaja que existe es «el operador dependiente» ya que se necesita adiestramiento en la medición del flujo aórtico, pero en menor tiempo que el adiestramiento para medición de gasto cardíaco medido por volumen sistólico en modo bidimensional. Hasta el momento, ninguna de ellas cumple todas las características necesarias para ser considerada como excelente: no invasiva, continua, fiable, reproducible, cómoda tanto para el paciente como para el profesional y exacta.

Por lo tanto, la utilización de cada una de ellas va a depender fundamentalmente de su disponibilidad y de los conocimientos o aptitudes del profesional.

El uso de la ecocardiografía ha demostrado que influye de manera significativa en el manejo del paciente con inestabilidad hemodinámica. En un estudio, el examen de FATE se utilizó para la optimización de la hemodinámica en 210 pacientes inestables. En 38% de los casos, los datos obtenidos apoyan la información ya disponible. En 37% hubo nuevos descubrimientos pertinentes, y en 25% se obtuvo información determinante que influyó o cambio el tratamiento del paciente. Los cambios más comunes instituidos después del examen de FATE fueron modificaciones de la terapia de volumen y apoyo inotrópico.¹⁷

Poelaert y colaboradores encontraron que de 64% de los pacientes con un catéter de Swan-Ganz en la Unidad de Cuidados Intensivos, 44% recibieron cambios terapéuticos tras un ecocardiograma; mientras que de los pacientes sin catéter de Swan-Ganz el ecocardiograma llevó a un cambio en el tratamiento en 41% de los casos. En resumen, se concluyó que el ecocardiograma produjo cambios en el tratamiento en un tercio de los pacientes graves, independientemente de que tuvieran insertado o no un catéter de Swan-Ganz. Por otra parte las presiones elevadas de pericardio y pleura pueden producir infrallenado fisiológico de los ventrículos y esto no puede ser diagnosticado con catéter de Swan-Ganz, pero es fácilmente identificado con el ecocardiograma.

A lo largo de los últimos años se han estudiado nuevos métodos que han llegado a reemplazar el uso del catéter de la arteria pulmonar para la determinación del gasto cardíaco.¹⁹ Estas nuevas tecnologías varían ampliamente entre ellas, de muy invasivas a menos invasivas y hasta no invasivas, proporcionan índices dinámicos de respuesta a los fluidos, otras permiten valorar variables de precarga volumétrica. Todas estas técnicas han sido valoradas y validadas mediante la comparación de sus resultados con el considerado estándar de oro, que aún hoy en día sigue siendo la termodilución intermitente de la arteria pulmonar.

CONCLUSIONES

La medición del gasto cardíaco mediante volumen sistólico en modo bidimensional se relaciona de forma significativa con la medición de gasto cardíaco medido por ecografía Doppler con aplicación de ecuación de continuidad. Infravalorada por médicos cardiólogos, ambas son herramientas no invasivas; y la última puede ser reproducible, con la finalidad de continuar aplicándola a cabecera de paciente y mejorar la monitorización hemodinámica de los pacientes críticos. Sin lugar a dudas nuestro estudio adolece del hecho de que es un estudio con un número pequeño de pacientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Connolly J, Dean AJ, Hoffmann B, Jarman RD. Emergency point-of-care ultrasound. 2nd edition. John Wiley & Sons, Ltd.; 2017. pp. 1-11.
2. Vincent JL, Rhodes A, Perel A, Martin GS, Della-Rocca G, Vallet B, et al. Clinical review: Update on hemodynamic monitoring--a consensus of 16. *Crit Care*. 2011;15(4):229.
3. Alhashemi JA, Cecconi M, Hofer CK. Cardiac output monitoring: an integrative perspective. *Crit Care*. 2011;15(2):214.
4. Slagt C, Breukers RM, Groeneveld AB. Choosing patient-tailored hemodynamic monitoring. *Crit Care*. 2010;14(2):208.
5. García X, Mateu L, Maynar J, Mercadal J, Ochagavía A, Ferrandiz A. Estimación del gasto cardíaco: Utilidad en la práctica clínica. Monitorización disponible invasiva y no invasiva. *Med Intensiva*. 2011;35(9):552-561.
6. Hüttemann E. Transthoracic echocardiography in critical care. *Minerva Anestesiol*. 2006;72(11):891-913.
7. Jensen MB, Sloth E, Larsen KM, Schmidt MB. Transthoracic echocardiography for cardiopulmonary monitoring in intensive care. *Eur J Anaesthesiol*. 2004;21(9):700-707.
8. Cook CH, Praba AC, Beery PR, Martin LC. Transthoracic echocardiography is not cost-effective in critically ill surgical patients. *J Trauma*. 2002;52(2):280-284.
9. Price S, Via G, Sloth E, Guerracino F, Breitkreutz R, Catena E, et al. Echocardiography practice, training and accreditation in the intensive care: document for the World Interactive Network Focused on Critical Ultrasound (WINFOCUS). *Cardiovasc Ultrasound*. 2008; 6: 49.
10. Oh JK, Seward JB, Tajik AJ. The Echo manual. 3rd edition. Lippincott Williams and Wilkins; 2006. pp. 2-21.
11. Cheitlin MD, Armstrong WF, Aurigemma GP, Beller GA, Bierman FZ, Davis JL, et al. ACC/AHA/ASE 2003 guideline update for the clinical application of echocardiography: summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASE Committee to Update the 1997 Guidelines for the Clinical Application of Echocardiography). *Circulation*. 2003;108(9):1146-1162.
12. Cheitlin MD, Armstrong WF, Aurigemma GP, Beller GA, Bierman FZ, Davis JL, et al. ACC/AHA/ASE 2003 guideline update for the clinical application of echocardiography: summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASE Committee to Update the 1997 Guidelines for the Clinical Application of Echocardiography). *Circulation*. 2003;108(9):1146-1162.
13. McLean AS, Needham A, Stewart D, Parkin R. Estimation of cardiac output by noninvasive echocardiographic techniques in the critically ill subject. *Anaesth Intensive Care*. 1997;25(3):250-254.
14. Beaulieu Y, Marik PE. Bedside ultrasonography in the ICU: part 1. *Chest*. 2005;128(2):881-895.
15. Axler O, Megarbane B, Lentschner 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.
16. 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.
17. Price S, Via G, Sloth E, Guerracino F, Breitkreutz R, Catena E, et al. Echocardiography practice, training and accreditation in the intensive care: document for the World Interactive Network Focused on Critical Ultrasound (WINFOCUS). *Cardiovasc Ultrasound*. 2008; 6: 49.
18. Poelaert JI, Trouerbach J, De Buyzere M, Everaert J, Colardyn FA. Evaluation of transesophageal echocardiography as a diagnostic and therapeutic aid in a critical care setting. *Chest*. 1995;107(3):774-779.
19. Salem R, Vallee F, Rusca M, Mebazaa A. Hemodynamic monitoring by echocardiography in the ICU: the role of the new echo techniques. *Curr Opin Crit Care*. 2008;14(5):561-568.

Conflictos de intereses: Los costos económicos fueron cubiertos por el investigador, con apoyo de la institución médica sede. Sin conflicto de intereses de alguna índole.

Correspondencia:

Elena Mejía Ruiz
Av. Simón Bolívar Núm. 1,
Fraccionamiento Las Américas,
Manzana 10, 55076,
Ecatepec de Morelos, México.
E-mail: rumel_love@hotmail.com