

# Correlación de gasto cardiaco obtenido por termodilución y por monitor ultrasónico (USCOM) en pacientes con choque séptico

María del Carmen Cruz Jiménez,\* Aurea Carmona Domínguez,\* Rafael Tapia Velasco,\*  
Jorge Arturo Nava López,\* Felipe de Jesús Montelongo\*

## RESUMEN

El catéter en la arteria pulmonar (CAP) es un dispositivo utilizado en unidades de cuidados intensivos (UCI) para medir las presiones en el corazón y los vasos sanguíneos pulmonares como parte del monitoreo hemodinámico, principalmente en pacientes de cirugía cardíaca. El dispositivo USCOM se trata de una técnica no invasiva que utiliza la tecnología Doppler para obtener las medidas de volumen sistólico y sus derivados.

Se realiza la siguiente comparación de medición de GC entre estos dos dispositivos en pacientes con choque séptico.

Se realizó un estudio tipo observacional, prospectivo, longitudinal y comparativo en pacientes con choque séptico entre 18 y 60 años de edad ingresados en la UTI en el periodo de mayo-junio del 2017.

Ante la disminución del uso del catéter de la arteria pulmonar debido a la controversia de no mejorar la mortalidad en los pacientes de las unidades de terapia intensiva (UTI), la colocación de dicho catéter ha caído en desuso; sin embargo, el GC medido por el catéter de Swan-Ganz sigue siendo el «estándar de oro» para la medición en tiempo real del GC y las resistencias sistémicas y pulmonares.

La medición del GC por CAP versus USCOM se correlaciona de tal forma que puede emplearse en la medición por USCOM en un paciente con choque séptico, al cual no se le pretenda invadir para determinar sus condiciones hemodinámicas.

**Palabras clave:** Gasto cardiaco, USCOM, termodilución, Swan-Ganz, catéter arteria pulmonar.

## SUMMARY

The pulmonary artery catheter (CAP) is a device used in intensive care units (ICUs) to measure pressures in the heart and pulmonary blood vessels as part of hemodynamic monitoring primarily in cardiac surgery patients. The USCOM device is a non-invasive technique that uses Doppler technology to obtain measurements of systolic volume and its derivatives.

The following CO measurement comparison is performed between these two devices in patients with septic shock.

An observational, prospective, longitudinal and comparative study was conducted in patients with septic shock aged between 18 and 60 years admitted to intensive care in the period May-June 2017.

In view of the decrease in the use of the pulmonary artery catheter due to the controversy of not improving the mortality in the patients of the Intensive Care Units, the placement of this catheter has fallen into disuse; however, cardiac output measured by the Swan Ganz catheter remains the «gold standard» for real-time measurement of cardiac output and systemic and pulmonary resistance.

The CO measurement by PAC versus USCOM correlates, in such a way, that USCOM measurement can be used in a patient with septic shock, who is not expected to invade to determine their hemodynamic conditions.

**Key words:** Cardiac output, USCOM, thermodilution, Swan-Ganz, pulmonary artery catheter.

## RESUMO

O cateter de artéria pulmonar (CAP) é um dispositivo utilizado em unidades de terapia intensiva (UTI) para medir as pressões nos vasos sanguíneos cardíacos e pulmonares, como parte da monitorização hemodinâmica, principalmente em pacientes submetidos a cirurgia cardíaca. O dispositivo USCOM é uma técnica não invasiva que utiliza a tecnologia Doppler para obter medidas do volume sistólico e seus derivados.

A seguinte comparação da medição do DC é feita entre esses dois dispositivos em pacientes com choque séptico.

Foi realizado um estudo observacional, prospectivo, longitudinal e comparativo em pacientes com choque séptico com idade entre 18 e 60 anos internados na unidade de terapia intensiva no período de maio a junho de 2017.

Dada a diminuição do uso do cateter de artéria pulmonar devido à controvérsia de não melhorar a mortalidade nos pacientes das Unidades de Terapia Intensiva, a colocação do referido cateter caiu em desuso; no entanto, o débito cardíaco medido pelo cateter de Swan Ganz continua sendo o «padrão ouro» para a medição em tempo real do débito cardíaco e resistências sistêmicas e pulmonares.

A medida do DC por CAP vs USCOM está correlacionada, de tal forma que a medida por USCOM pode ser usada em um paciente com choque séptico, que não se destina a invadir para determinar suas condições hemodinâmicas.

**Palavras-chave:** Débito cardíaco, USCOM, termodiluição, Swan Ganz, cateter de artéria pulmonar.

## INTRODUCCIÓN

El catéter de la arteria pulmonar (CAP) es una herramienta fundamental para la monitorización hemodinámica en las unidades de cuidados intensivos (UCI).<sup>1</sup> Durante 40 años, el CAP se ha usado ampliamente en pacientes críticos con diagnóstico de choque séptico y como guía del tratamiento inotrópico y vasopresor, ayudando a los clínicos a entender la fisiopatología de muchos procesos hemodinámicos.

Sin embargo, en los últimos años, la utilidad del CAP ha sido sometida a un intenso debate, debido fundamentalmente a la publicación de trabajos en los que su utilización no se asociaba a un beneficio en la supervivencia,<sup>2-7</sup> relacionándose en varios de estos estudios con mayor mortalidad. Paralelamente, los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de nuevas técnicas menos invasivas para la monitorización cardiovascular, reforzando la idea de que el uso sistemático del CAP podía haber llegado a su fin. A pesar de la controversia creada, no cabe duda de que, mediante el CAP, se obtienen variables hemodinámicas únicas, valiosas, en tiempo real y útiles en la guía de la reanimación del paciente en estado crítico.<sup>1</sup>

## Mediciones del flujo sanguíneo

La medición del gasto cardiaco (GC) mediante este catéter se basa en la termodilución transcardiaca. Tras inyectar un volumen de líquido con una temperatura inferior a la sanguínea, el termistor detecta los cambios de temperatura a lo largo del tiempo, registrándose en forma de curva. El área bajo la curva registrada es el volumen minuto.<sup>2</sup>

En los últimos años, se han estudiado nuevos métodos, que han llegado a reemplazar el uso del CAP para la determinación del GC. Las nuevas tecnologías varían ampliamente entre ellas, desde muy invasivas hasta no invasivas; de intermitentes a continuas y con diferentes

\* ISEM Las Américas, Ecatepec.

Recepción: 01/09/2017. Aceptación: 13/07/2018.

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

determinantes en su funcionamiento. Algunas proporcionan índices dinámicos de respuesta a líquidos intravenosos, que se consideran como mejores predictores de respuesta al aporte de volumen en la reanimación de pacientes con choque, otras permiten valorar variables de precarga volumétrica y otras aportan medidas continuas de la saturación venosa central. Todas estas variables, junto con el GC, están destinadas a mejorar la monitorización hemodinámica. 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, exacta y con los mínimos efectos secundarios. 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.<sup>1</sup>

El estado de choque se define en la actualidad como un desequilibrio entre el aporte ( $\text{DO}_2$ ) y el consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ) que lleva al paciente a un estado de hipoperfusión tisular, alcanzando niveles por debajo del  $\text{DO}_2$  crítico, nivel específico en el que se echan a andar mecanismos de compensación, que provocan un estado de metabolismo anaerobio. La severidad del estado de hipoperfusión puede llegar al punto en que la función celular no puede mantenerse más, ocasionando la muerte celular por apoptosis y/o necrosis, paso inicial que desencadena la disfunción orgánica, situación que, si no es corregida en tiempo y forma, llevará, en su historia natural de la enfermedad, a la muerte del paciente.<sup>8</sup>

De manera inicial, tendremos información clínica y resultados de estudios de laboratorio que indican que el paciente se encuentra con evidencia franca de sufrir un estado de choque. Resulta de suma importancia poder diferenciar las causas que llevaron al paciente a desarrollar este estado para poder orientar el manejo.

### Gasto cardiaco

La medida del GC se refiere a la cantidad de sangre que sale de los ventrículos del corazón a la circulación mayor o menor, según sea el caso, del ventrículo izquierdo o derecho, por unidad de tiempo (casi siempre referida en un minuto); por lo tanto, sus unidades de medición serán los litros por minuto (L/min), la fórmula ampliamente descrita en textos de la literatura médica se describe como sigue:<sup>9,10</sup>

$$\begin{aligned} \text{GC} &= \text{VEV} \times \text{FC} \\ \text{GC} &= \text{Gasto cardiaco} \\ \text{VEV} &= \text{Volumen de eyección ventricular} \\ &\quad (\text{por latido cardiaco}) \\ \text{FC} &= \text{Frecuencia cardiaca (latidos por minuto)} \end{aligned}$$

### Determinantes del gasto cardiaco

Se denomina gasto cardiaco (GC) a la cantidad de sangre que expulsa el corazón en un minuto. Podemos expresarlo como:

$$\text{Gasto cardiaco} = \text{volumen sistólico (versus)} \times \text{frecuencia cardiaca (FC)}$$

Los valores de normalidad del GC en el adulto sano son en torno a 4-6.5 l/min en reposo. El volumen sistólico va a depender de variables como: precarga, postcarga y contractilidad miocárdica

### Precarga

Está determinada por la longitud de la fibra cardiaca antes de su contracción. Según la ley de Frank-Starling, existe una relación directa entre el grado de elongación de la fibra en diástole y el posterior acortamiento de la fibra miocárdica en sístole. Se debe a que el estiramiento de la fibra conlleva una ligera elongación del sarcómero, con lo que aumenta el número de lugares de interacción entre actina y miosina.

En la clínica, podría definirse como la dimensión ventricular en telediástole. Sería posible utilizar la presión ventricular izquierda como medida de precarga, siempre y cuando la relación entre presión y volumen ventricular fuese constante. Según la ley de Frank-Starling, a una frecuencia cardiaca constante, el GC es directamente proporcional a la precarga hasta un punto a partir del cual, aunque aumenten las presiones de llenado ventricular, el GC no se incrementará y, en determinadas circunstancias, podría descender.

Dentro de la curva de Frank-Starling pueden definirse dos fases: la primera, en la que el aumento de precarga se correlaciona de forma lineal con un incremento en el volumen sistólico (o zona precarga-dependiente) y una segunda, en la que el aumento de precarga apenas se correlaciona con un incremento en el GC (o zona precarga independiente).

Efectivamente, al estirarse las fibras miocárdicas, aumentan su afinidad por el  $\text{Ca}^{++}$  y, por consiguiente, la contractilidad miocárdica, pero llega un punto en el que el corazón no puede distenderse más, debido a limitaciones anatómicas y estructurales. Una sobredistensión miocárdica, como ocurre en las miocardiopatías dilatadas, provoca una alteración estructural de los miocitos, lo que ocasiona una pérdida de contractilidad y, por lo tanto, un descenso en el GC.

Por otra parte, también habrá un desplazamiento a la derecha de la curva de Frank-Starling cuando la distensibilidad ventricular se vea afectada por procesos que alteren la relajación ventricular, como la hipertrofia o la fibrosis, o por factores extrínsecos, como enfermeda-

des del pericardio. La precarga, por lo tanto, tiene una relación directa con el llenado ventricular, cuyo principal determinante es el retorno venoso al corazón.

La relación entre retorno venoso y función cardíaca va a determinar los valores de la presión venosa y el GC del momento. Un aumento en el retorno venoso producirá un aumento del GC en un corazón sano y la presión venosa se mantendrá en límites normales.

Por el contrario, en una situación de fallo cardíaco, el corazón no podrá asumir todo el contenido sanguíneo que le llega, lo que producirá un aumento de la presión de la aurícula derecha (presión venosa central) y una disminución del retorno venoso, debido al descenso en el gradiente de presión entre el sistema venoso y la aurícula derecha, así como un descenso en el GC.<sup>2</sup>

### Postcarga

Supone la resistencia al vaciado del corazón. En un corazón sano, la postcarga equivale a la tensión de la pared ventricular en sístole, siendo esta tensión la presión que debe superar el ventrículo para contraerse. El GC tiene una relación inversa con la postcarga. Asumiendo que el ventrículo tiene forma esférica, la ley de Laplace expresa la tensión de la pared según la fórmula:

$$\text{Tensión} = \text{presión cavitaria} \times \text{radio de la cavidad} / 2 \times \text{espesor de la pared}$$

Los principales determinantes de la presión ventricular durante la sístole son la fuerza de contracción ventricular, la distensibilidad de las paredes de la aorta y la resistencia vascular sistémica. Dado que la distensibilidad vascular suele ser constante, en la práctica clínica suele equipararse postcarga con resistencia vascular sistémica (RVS), que puede ser calculada a partir de la fórmula:

$$\text{RVS} = (\text{PAM} - \text{PVC}) / \text{GC}$$

Como puede observarse, a la hora de conocer las resistencias vasculares sistémicas en ausencia de alteraciones de la función cardíaca, la presión arterial media es su mayor condicionante y, por lo tanto, en la práctica clínica su valor nos ofrece una aproximación válida a la postcarga cardíaca.

A partir de dicha fórmula, puede entenderse que la presión arterial media depende fundamentalmente y de forma directa del GC y de las resistencias vasculares periféricas, según:

$$\text{PAM} = (\text{CO} \times \text{RVS}) + \text{PVC}$$

**Contractilidad cardíaca:** Es la capacidad intrínseca del miocardio para bombear la sangre en condiciones

de precarga y postcarga constantes. Está relacionada con la velocidad de acortamiento del músculo cardíaco que, a su vez, depende del contenido de  $\text{Ca}^{++}$  intracelular de los miocitos y de determinadas proteínas musculares como la proteincinasa. La contractilidad miocárdica puede ser modulada por factores nerviosos y humorales.<sup>2</sup>

La técnica de medición del GC fue descrita por primera vez en 1870 por Adolf Fick,<sup>9,11</sup> quien calculó el GC de un animal utilizando el consumo de oxígeno y las concentraciones de oxígeno en muestras de sangre arterial y venosa.<sup>9,12,13</sup>

$$\text{GC} = \text{VO}_2 / (\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2)$$

GC = Gasto cardíaco

$\text{VO}_2$  = Consumo de oxígeno

$\text{CaO}_2$  = Contenido de oxígeno arterial

$\text{CvO}_2$  = Contenido de oxígeno venoso

### Saturación venosa mixta y otras variables oximétricas

La saturación de oxígeno a nivel de la arteria pulmonar distal o saturación venosa mezclada o mixta ( $\text{SvO}_2$ ) es probablemente el mejor indicador aislado de la adecuación del transporte global de oxígeno ( $\text{DO}_2$ ), puesto que representa la cantidad de oxígeno que queda en la circulación sistémica después de su paso por los tejidos. Se ha propuesto el uso de la saturación venosa central de  $\text{O}_2$  ( $\text{SvcO}_2$ ) como un método sencillo, en sustitución de la  $\text{SvO}_2$ , para evaluar la idoneidad de la perfusión global en varios escenarios clínicos. Sin embargo, el hecho de que la  $\text{SvcO}_2$  sea reflejo de la  $\text{SvO}_2$  ha sido muy discutido, especialmente en el paciente crítico. Además, con los valores obtenidos de GC y  $\text{SvO}_2$ , junto con los valores arteriales de oxigenación, es posible calcular el transporte y el consumo global de oxígeno ( $\text{DO}_2$  y  $\text{VO}_2$ , respectivamente), así como el *shunt* oximétrico pulmonar y el cálculo del gradiente oximétrico en la rotura aguda del tabique interventricular.

Grehant y Quinquaud realizaron por primera vez en 1886 la cateterización de la arteria pulmonar experimentalmente en perros, pero la técnica no estaría disponible para los seres humanos durante los siguientes 50 años. Se desarrollaron posteriormente técnicas de dilución de indicadores.

En 1897, Stewart describió experimentos con el principio de dilución de indicadores, inyectó cloruro de sodio en la circulación venosa central de animales y midió posteriormente su concentración en la arteria femoral.<sup>6</sup> Hamilton modificó este principio para dar cuenta de las concentraciones variables de inyectado diluido en el tiempo, desarrollando una curva de concentración a través del tiempo para reflejar este fenómeno.<sup>14</sup> Pudo demostrar entonces que el GC fue igual a la cantidad

de colorante indicador (verde de indocianina) inyectado, dividido por la integral del área bajo la curva de dilución medida en el lado arterial, conocida hoy como la ecuación de Stewart-Hamilton:<sup>15</sup>

$$\text{Flujo} = (C_i V_i) / \int C(t) dt$$

$C_i$  = Concentración inicial del inyectado

$V_i$  = Volumen inicial de inyección

$\int$  = Integral.

$C(t)$  = Concentración de inyectado diluido en el tiempo.

$dt$  = Área bajo la curva de la dilución.

Basándose en el mismo concepto de la dilución de indicadores, Fegler introdujo la termodilución en 1954 inyectando una solución fría como indicador y midiendo los cambios en la temperatura sanguínea detectados distalmente.<sup>14</sup> Swan et al. desarrollaron en 1970 lo que denominaron un catéter de lumen múltiple dirigido hacia la arteria pulmonar por medio de un globo de flotación, denominado actualmente como catéter de Swan-Ganz o catéter arterial pulmonar (CAP).<sup>16</sup> La introducción de este dispositivo permitió a los médicos medir el GC por termodilución. Después de 50 años, este método todavía se considera el estándar de oro clínico para la medición del GC.<sup>8</sup>

### Ventajas e inconvenientes

El CAP parece ideal para identificar y monitorizar los diferentes patrones de choque circulatorio (hipovolémico, cardiogénico, obstructivo y distributivo), con la obtención de los componentes principales de cualquier patrón: GC, PAPO y oximetría. Usar estas tres medidas asociadas a medidas directas de presión arterial media permite definir la etiología del choque, así como monitorizar la respuesta al tratamiento.<sup>6</sup> Basado en estos argumentos, el CAP ha sido una de las piedras angulares para el manejo del paciente en nuestras UCI, utilizándose como sistema de monitorización; sin embargo, sus datos no se han tomado en cuenta o simplemente se han usado para definir la estabilidad del paciente. Este uso poco específico e indiscriminado podría ser responsable, al menos en parte, de la falta de eficacia en cuanto a la supervivencia observada en diferentes trabajos.<sup>17-19</sup>

Hallamos otro factor contribuyente en la comprobación repetida del escaso conocimiento de los clínicos en la interpretación de la información obtenida mediante el CAP, como en el análisis de la morfología de la onda de PAPO y la falta de comprensión correcta de las variables fisiológicas obtenidas para su traslado al contexto clínico.<sup>20</sup> Obviamente, ningún sistema de monitorización hemodinámica será capaz de mejorar el pronóstico del paciente, excepto si la información obtenida mediante dicho sistema se asocia a la elección de

un tratamiento que sí pueda mejorar la supervivencia del paciente.

Frente a lo que acaba de exponerse, varios estudios han demostrado que el uso del CAP en el tratamiento dirigido por objetivos mejora el pronóstico de los pacientes tratados. Cuando las estrategias de resucitación han sido dirigidas por variables hemodinámicas derivadas del CAP, como el  $DO_2$ , el índice cardíaco (IC) o la  $SvO_2$ , se ha conseguido acortar de manera significativa la estancia hospitalaria, así como una mayor supervivencia.<sup>21-23</sup> Por lo tanto, al parecer, el CAP es una herramienta útil capaz de mejorar la supervivencia cuando se asocia a un algoritmo de tratamiento con objetivos fisiológicos específicos y se utiliza en los pacientes adecuados. No ha mostrado beneficio cuando se ha empleado en poblaciones de bajo riesgo quirúrgico o cuando se ha usado para guiar la reanimación en fases tardías de la enfermedad, una vez que el daño orgánico ya se ha desarrollado.<sup>24</sup>

Además del debate, en lo referente al pronóstico de los pacientes, se ha hecho hincapié en las complicaciones potenciales del CAP para reforzar los argumentos en contra de su uso. Evidentemente, como cualquier técnica invasiva, no está exenta de riesgos y complicaciones. Numerosos estudios han demostrado que las complicaciones locales derivadas de la inserción del PAC no difieren de las derivadas de la inserción de cualquier otro catéter venoso central.<sup>25</sup> Sin embargo, sí se ha asociado a un incremento en el riesgo de infecciones (incidencia de bacteriemia de 0.7-1.3%)<sup>26</sup> y a fenómenos tromboticos durante su uso prolongado (> 48 horas), así como a un aumento del riesgo de arritmias durante su inserción (aunque con mínima incidencia de arritmias graves y sin repercusión en el pronóstico). De todo lo anterior, puede deducirse que la asociación de CAP y mejoría del pronóstico van a depender de cómo, cuándo, dónde y en qué tipo de pacientes se utilice.

### Monitoreo a través de dispositivo USCOM

Se trata de una técnica no invasiva que utiliza la tecnología Doppler para obtener las medidas de volumen sistólico y sus derivados. Todos los dispositivos médicos que emplean el Doppler utilizan una sonda que emite ondas de sonidos a una frecuencia continua que rebotan en los eritrocitos en continuo movimiento (se acercan, o bien se alejan del transductor), obteniendo así una medida de flujo. Cuando la onda y el eritrocito se encuentran, la onda de sonido que rebota hacia el transductor cambia su frecuencia original en función de la dirección del flujo sanguíneo. Cuando el transductor está alineado con el flujo sanguíneo, se obtiene una frecuencia o velocidad óptima máxima.

El dispositivo USCOM realiza una valoración del flujo aórtico mediante una integral de velocidad-tiempo en el arco aórtico o arteria pulmonar, considerando que el volu-



men sistólico que atraviesa la aorta se puede valorar por ultrasonido supraesternal. El dispositivo también ofrece otros cálculos cardiovasculares como PKR (poder cinético) e índice de inotropismo (Smith-Madigan), por lo que la correlación entre las variables determinadas por catéter Swan-Ganz y las variables obtenidas por USCOM apoyarían el uso de este último dispositivo como una maniobra no invasiva de medición del GC, evitando procedimientos que pudiesen complicar al paciente (Figura 1).

### Doppler transtorácico

El principio del ultrasonido Doppler implica medir por ondas de sonido la velocidad de tránsito a través de un capilar del flujo de los eritrocitos, pueden obtenerse mediciones de manera convencional por ecografía transtorácica midiendo el TSVI (tracto de salida del ventrículo izquierdo) y el IVT (índice de velocidad tiempo) del flujo aórtico y medir el GC mediante la ecuación de Bernoulli modificada.

$$GC = (TSVI)^2 \times 0.785 \times FC \times IVT \text{ aórtico}$$

La utilización del Doppler en el equipo USCOM realiza un cálculo de acuerdo con el peso y talla del paciente para la obtención del TSVI aproximado y con el ultrasonido se realiza la medición del IVT aórtico en el cayado de la aorta mediante una ventana supraesternal.

Se coloca la sonda a nivel de la escotadura supraesternal, supraclavicular o paraesternal buscando los

flujos sanguíneos máximos a nivel del tracto de salida de la válvula aórtica y pulmonar, respectivamente. Las áreas de los tractos de salida se estiman a partir de un algoritmo antropométrico. Con las velocidades y áreas pueden obtenerse las medidas de volumen sistólico, GC, índice cardíaco y resistencias vasculares.<sup>1</sup>

Los movimientos de angulación deberán ser lentos para ir valorando al mismo tiempo las características del espectro Doppler en la pantalla del monitor. Al continuar inclinando el transductor, la velocidad del espectro aumentará a medida que el haz se alinea con la dirección del flujo aórtico; además, los lados del triángulo se volverán más rectos y tendrán más definición (Figura 2).

El mejor ángulo de insonación será el que obtenga la mayor definición de ambos lados del espectro y la mayor velocidad de flujo. Al principio, probablemente la punta del triángulo del espectro será difusa y no bien definida. El siguiente paso es proceder a realizar movimientos de basculación del transductor entre las 4:00 y 8:00 hrs. en comparación con las manecillas de un

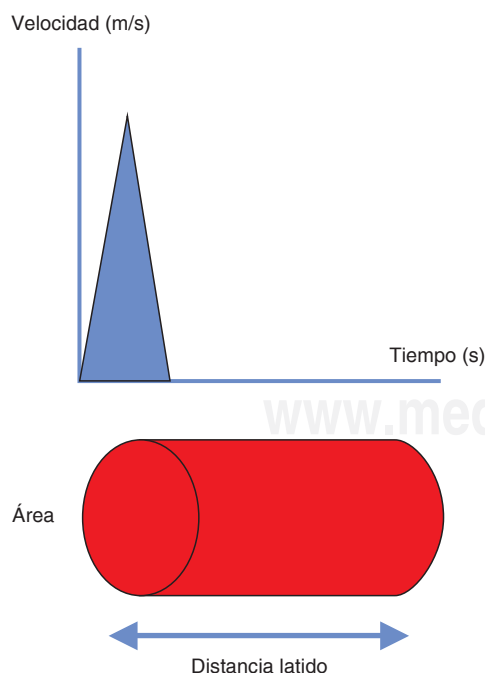


Figura 1: Integral de velocidad/tiempo.

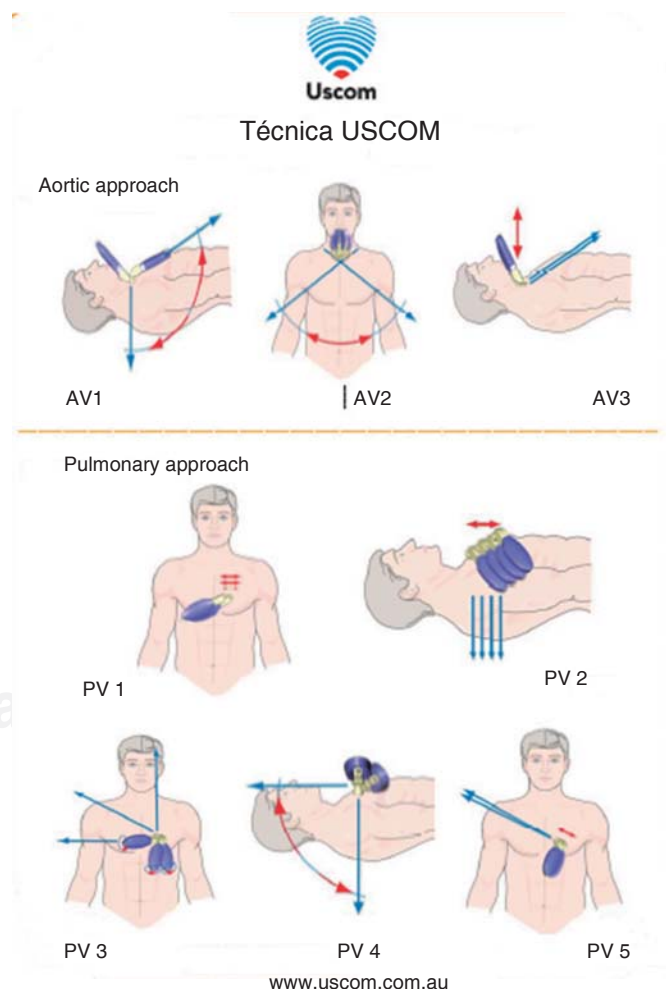


Figura 2: Técnica de insonación.

reloj. Esto con el objetivo de mejorar la imagen lo más posible y definir adecuadamente la punta del espectro.

Las características del espectro Doppler para considerar una adecuada técnica de toma son: obtener una imagen de forma triangular, los lados del triángulo tendrán que ser lo más simétricos posible y se tomará en cuenta la imagen en la que se obtenga la mayor anchura, los lados del triángulo deben emanar de la base, ser rectos y continuos, convergiendo en un pico puntiagudo bien definido (*Figura 3*).

Las principales ventajas de este método son las ya descritas para cualquier sistema ecográfico. Es un sistema totalmente no invasivo y que, por su tamaño compacto, permite gran agilidad en su utilización a pie de cama. Su aprendizaje es rápido y no requiere calibración.<sup>1</sup>

Se trata de un sistema operador dependiente y que no dará información de forma continua. La ventana acústica será también una limitante en su uso, siendo necesario el entrenamiento y capacitación del personal para mejorar la obtención del trazado y consecuentemente el GC medido. Su uso todavía no está expandido por la falta de estudios de validación.<sup>1</sup> Sin embargo, es un instrumento prometedor, no invasivo y probablemente con la misma utilidad del catéter de Swan-Ganz.<sup>3</sup>

Otra aplicación comparativa entre la medición del GC por termodilución y el USCOM es en pacientes con trasplante hepático. Se trata de un estudio prospectivo de comparación de métodos con 71 mediciones pareadas obtenidas en 12 pacientes sometidos a trasplante hepático en un hospital universitario, donde se mostró un sesgo de 0.39 L/minuto; con el USCOM el débito cardiaco es inferior, en comparación con la termodilución. El sesgo fue pequeño y no varió con la magnitud del GC. Los límites de 95% de acuerdo fueron 1.47 y 2.25 L/minuto. Se concluyó que el USCOM es aceptable para la determinación clínica del GC no invasivo, particularmente en situaciones en las que el seguimiento de los cambios en el tiempo es más importante que el conocimiento del valor exacto.<sup>3</sup>

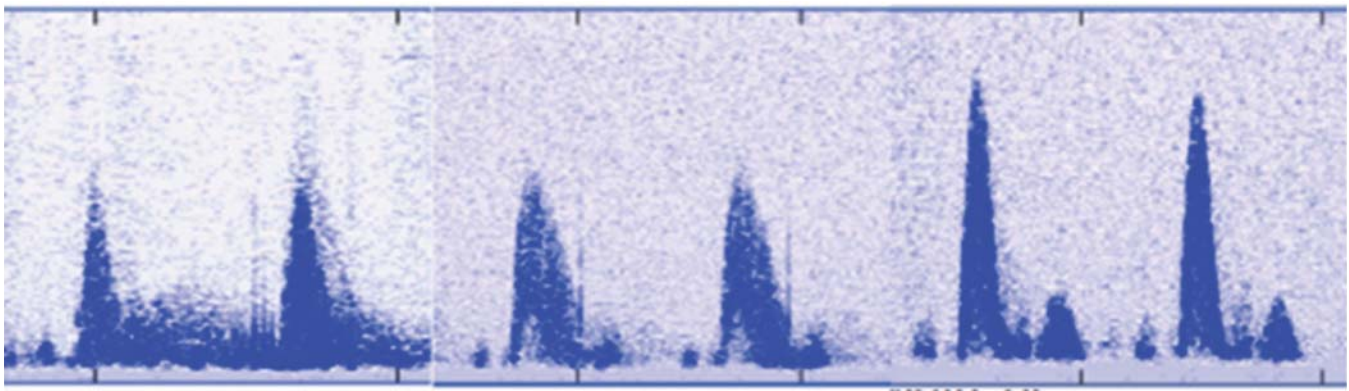
Un estudio prospectivo en una UCI donde se evaluaron 24 pacientes con ventilación mecánica inmediatamente después de cirugía cardiaca evaluó el monitor USCOM, comparando su producción con medidas obtenidas por la técnica estándar de termodilución, utilizando catéter de la arteria pulmonar, con el que se realizaron 40 mediciones pareadas en 22 pacientes, mostrando un sesgo de 0.18 y límites de 1.43 a 1.78, concluyendo que se requieren más estudios de validación.<sup>4</sup>

### ¿Cuándo monitorizar el gasto cardiaco?

Existe escasa evidencia científica que apoye una monitorización exhaustiva del GC en determinados pacientes críticos. Ningún tipo de monitorización ha demostrado aumentar la supervivencia de ningún tipo de paciente; sin embargo, parece muy razonable pensar que, en determinados pacientes, el hecho de tener a nuestro alcance información sobre el funcionamiento cardiaco nos puede ayudar a entender la fisiopatología del proceso y guiarnos a la hora de tomar decisiones terapéuticas que, a su vez, pueden influir de forma vital en el pronóstico. Algunos estudios han demostrado que monitorizar el GC de forma sistemática en todos los pacientes críticos no aporta un claro beneficio.<sup>2</sup>

Todos los pacientes en estado de choque han de tener una mínima monitorización que comprenda la presión arterial (de forma invasiva o no invasiva), ECG, pulsioximetría, control de diuresis, presión venosa central, saturación venosa central de O<sub>2</sub>, etc. Dichas medidas pueden guiar, de forma inicial, las medidas de reanimación y pueden ser suficientes en caso de que se logre el objetivo.

En determinados pacientes, esas medidas iniciales no aportan información suficiente para continuar el tratamiento, por lo que es recomendable ampliar la monitorización y obtener información del GC del paciente. Choque refractario: en los pacientes en quienes, trans-



**Figura 3:** Tipos de espectro obtenidos. Se recomienda un espectro más alto y bien definido como lo muestra el par de la derecha.

curridas 3-6 horas desde el inicio del tratamiento, se presenten signos de choque refractario como lactacidosis persistente, oliguria, necesidad de fármacos vasoactivos a dosis crecientes, etc., es necesaria una información más detallada sobre la función cardíaca que permita entender por qué el tratamiento inicial no ha tenido éxito y, por lo tanto, guiar de forma más adecuada las medidas de reanimación. Dicha monitorización debe incluir el GC y ha de hacerse de forma precoz una vez que el paciente haya sido resistente a las medidas iniciales.<sup>2</sup>

### Planteamiento del problema

Los avances en el conocimiento de la fisiopatología de la sepsis, entendida hoy día como una respuesta del huésped a la infección más amplia, que involucra no sólo la activación de respuestas proinflamatorias y antiinflamatorias, sino también modificaciones en vías no inmunológicas (cardiovascular, autonómica, neuronal, hormonal, energética, metabólica y de coagulación)<sup>10</sup> han llevado a la necesidad de un mejor reconocimiento de las complicaciones y repercusiones en el pronóstico en este tipo de patología.

La *European Society of Intensive Care Medicine* y de la *Society of Critical Care Medicine* han definido la sepsis como «la disfunción orgánica causada por una respuesta anómala del huésped a la infección que supone una amenaza para la supervivencia».

Existe en la actualidad gran controversia en cuanto al uso de monitoreo hemodinámico invasivo a través del catéter de flotación de la arteria pulmonar (catéter de Swan-Ganz) en el paciente crítico. Aún se plantean dudas sobre la necesidad de su uso en la práctica clínica por su posible relación con un aumento de la mortalidad y la aparición de otras técnicas alternativas menos invasivas que producirían menor morbilidad en este tipo de pacientes.

El catéter de Swan-Ganz (SG) proporciona datos hemodinámicos con una mayor sensibilidad diagnóstica que los datos clínicos en la valoración de la gravedad del fallo cardíaco.<sup>1-7</sup> Pone en evidencia datos que no pueden sospecharse desde el punto de vista clínico. Presenta, además, mayor precisión en la estimación de la precarga que la presión venosa central (PVC) en pacientes con disfunción sistólica ventricular. Todos estos datos hacen pensar que su información podría influir positivamente en el pronóstico de los pacientes.<sup>5</sup>

A mediados de los 80 se diseñaron estudios clínicos aleatorizados para evaluar la eficacia del catéter de SG. Ninguno de estos estudios fue lo suficientemente convincente, dado el escaso tamaño de la muestra, la confusión en la definición del tratamiento asociado y la presencia de poblaciones muy heterogéneas. Hubo quienes concluían que no aportaba beneficio o lo aso-

ciaban a un empeoramiento clínico y otros concluían que su utilización mejoraba el pronóstico.<sup>6</sup>

La introducción de la técnica de ecocardiografía Doppler ha sido fundamental en la valoración hemodinámica y etiológica del paciente crítico y ha permitido aclarar muchas situaciones clínicas en este contexto.

El monitor ultrasónico de GC (USCOM) es un dispositivo no invasivo de ultrasonido Doppler de onda continua. Este dispositivo tiene una precisión medida por espectro Doppler de 2.3%.<sup>6,7</sup>

El dispositivo detecta y grafica un espectro Doppler del flujo de la válvula pulmonar o aórtica. Para fines de nuestro estudio, nos enfocaremos en la obtención del espectro Doppler de flujo aórtico por ser la ventana más accesible para su medición. Por medio del espectro obtenido, el monitor realiza la determinación de la integral de velocidad-tiempo y de la frecuencia cardíaca por minuto.<sup>9</sup>

El monitor USCOM es un dispositivo que hace una medición no invasiva del GC, pretende competir con la técnica ya validada y hasta el momento es el estándar de oro para medición del GC, al igual que la técnica de medición por termodilución de la arteria pulmonar a través del catéter de Swan-Ganz.

### Objetivos

**Objetivo general:** Correlacionar la medición del GC obtenido por termodilución con el obtenido por USCOM en pacientes con choque séptico en la UTI durante el periodo de mayo a la fecha.

**Objetivos específicos:** validar la medición del GC por USCOM en pacientes en estado de choque séptico como medida no invasiva. Conocer las siguientes variables de los pacientes participantes en el estudio: edad, género, peso corporal, talla, frecuencia cardíaca, medida del GC obtenido por termodilución y medida del GC obtenido con monitor ultrasónico del GC (USCOM).

### MATERIAL Y MÉTODOS

**Diseño de estudio:** Se realizó un estudio tipo observacional, prospectivo, longitudinal y comparativo (*Tabla 1*).

**Universo de trabajo y muestra:** Área de estudio: unidad de terapia intensiva de adultos

**Universo:** pacientes de entre 16 y 110 años internados en la UTI durante el periodo de mayo a la fecha con diagnóstico de choque séptico de cualquier origen que contaran con la colocación de catéter de flotación.

**Muestra:** se evaluó un total de 28 eventos de medición en la UTI.

**Criterios:** fueron incluidos en el estudio todos los pacientes de entre 16 y 110 años que se encontraron internados en la UTI durante el periodo de mayo a la fecha con diagnóstico de choque séptico de cualquier origen, que contaran con la colocación de catéter de flotación.

Tabla 1: Operalización de las variables.

Variable	Tipo	Definición operacional	Escala de medición
Edad	Cuantitativa	Tiempo transcurrido desde el nacimiento hasta el momento del estudio en años	Edad en años desde los 16 hasta los 90 años
Género	Cualitativa nominal	Condición biológica que distingue al hombre de la mujer	Masculino Femenino
Peso	Cuantitativa	Fuerza de gravitación universal que ejerce un cuerpo celeste (en este caso el planeta Tierra) sobre una masa (en este caso el cuerpo del paciente)	Resultado numérico en kilogramos
Talla	Cuantitativa	Estatura o altura de las personas. Distancia que hay entre la planta de los pies a parte más alta de la cabeza	Resultado numérico en centímetros
Frecuencia cardíaca	Cuantitativa	Número de latidos por minuto del corazón de los pacientes participantes	Resultado numérico en latidos por minuto
Gasto cardíaco medido por catéter de flotación	Cuantitativa	Medida obtenida por termodilución en la arteria pulmonar a través de catéter de Swan-Ganz ((DA-aO <sub>2</sub> 0,785)(IVTTSVI) (FC))/1,000	Resultado numérico en litros por minuto
Gasto cardíaco medido por monitor ultrasónico de gasto cardíaco	Cuantitativa	Medida del gasto cardíaco arrojada por la máquina de USCOM posterior a la medición en hueco supraesternal de flujo aórtico más edad, talla y peso de cada paciente agregados al dispositivo	Resultado numérico en litros por minuto

**Criterios de inclusión:** Pacientes de entre 16 y 110 años internados en la UTI. Pacientes internados en la UTI durante el periodo de mayo a la fecha. Pacientes internados en la UTI con diagnóstico de choque séptico de cualquier origen. Pacientes internados en la UTI que contaran con la colocación de catéter de Swan-Ganz. Pacientes en los que técnicamente fuera realizable la medición del GC con USCOM. Pacientes con ventilación mecánica con un volumen tidal calculado entre 6 y 8 mL por kilogramo de peso predicho. Pacientes sin arritmias cardíacas.

**Criterios de exclusión:** Paciente que no cumplieron los rangos de edad. Pacientes que electrocardiográficamente tenían algún tipo de arritmia cardíaca. Pacientes en quienes no se aceptó la colocación de catéter de Swan-Ganz por parte del familiar responsable del paciente. Pacientes en los que técnicamente fue imposible realizar la medición del GC por USCOM en foco aórtico.

**Criterios de eliminación:** Pacientes que en cualquier momento se presentara disfunción del catéter de flotación. Pacientes que no contaban con colocación de catéter de Swan-Ganz. Pacientes que no autorizaron el consentimiento.

#### Instrumentos de investigación

**Fuente de información:** el expediente clínico para la recolección de peso, edad, talla y diagnóstico. Las medidas obtenidas del monitoreo hemodinámico por termodilución en tiempo real y la medida de GC en tiempo real obtenido por el monitor USCOM de manera pareada.

**Instrumento:** se utilizó una hoja de recolección de datos para plasmar la información necesaria para cada paciente.

#### Desarrollo del proyecto

**Materiales:** hojas de recolección de datos, hojas de consentimiento informado para la colocación de catéter de Swan-Ganz, lápiz, catéter de Swan-Ganz, monitor USCOM, computadora laptop, *software* de hoja de cálculo Microsoft Office, *software* de procesador de texto Microsoft Word e impresora con tinta.

#### Descripción de los procedimientos

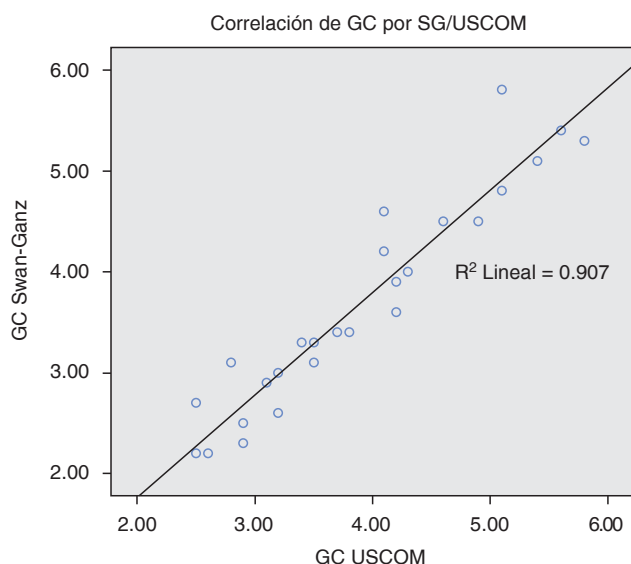
- Se hizo la recolección en el expediente clínico de peso, edad y talla de los pacientes participantes.
- Se revisó el expediente y se verificó el diagnóstico principal.
- Se procedió a obtener GC por termodilución a través de catéter de Swan-Ganz, inicialmente verificando la adecuada posición del transductor de presión en el punto flebotático, se tomó la medición de la PCP y posteriormente se verificó la constante computacional del catéter para la medición de GC con la administración de 10 mL de solución a una temperatura de 5 °C. Se realizó un promedio de la medición de tres gastos cardíacos por evento, se ingresaron datos solicitados en la pantalla del monitor y se realizó cálculo hemodinámico por el *software* del mismo.
- Se anotaron los datos obtenidos en hoja de recolección.
- Se procedió a capturar en el monitor USCOM edad, talla y peso de los pacientes. Posteriormente se realizó la búsqueda del espectro Doppler de flujo aórtico a nivel de hueco supraesternal y, por medio de esta información, el *software* del monitor se obtuvo la medida del GC en litros por minuto de manera pareada a la medición del GC por termodilución.



- f) Con esta información, se realizó el llenado de las hojas de recolección de datos.
- g) Con las hojas de recolección de datos, se capturaron los datos de edad, género y diagnóstico en hoja de cálculo (en este caso, de Microsoft Office), posteriormente se realizaron cálculos de promedios, medias aritméticas y moda a modo de comparación con los dos dispositivos de estudio.

### Diseño estadístico

Se obtuvo una media de GC por medio de Swan-Ganz de 3.64 L/min y una media de GC por USCOM de 3.85



**Figura 4:** Gráfica de regresión lineal termodilución/USCOM.

L/min. Al realizar la correlación por P de Pearson, equivalió a 0.95 en Swan-Ganz y a 1.0 en USCOM (IC 95%).

### RESULTADOS

Una vez realizado el estudio y aplicados los criterios de inclusión, exclusión y eliminación en la población estudiada, el género masculino predominó: 75% con respecto al femenino 25%, de los pacientes con choque séptico ingresados en la UTI de esta unidad, se documentó mayor incidencia en aquéllos de partida abdominal ( $n = 2$ , 50%), seguidos de urinaria y pulmonar ( $n = 1$ , 25% respectivamente).

De las 28 muestras pareadas obtenidas, se calculó la media aritmética del GC de cada dispositivo, encontrando un promedio de 3.64 L/min en el medido por catéter de Swan-Ganz y de 3.85 L/min en el obtenido por USCOM.

Se realizó una gráfica de regresión lineal, comparando la medida del GC por termodilución y USCOM (Figura 4).

Se obtuvo una media de GC por medio de Swan-Ganz de 3.64 L/min y una media de GC por USCOM de 3.85 L/min; al realizar la correlación por P de Pearson equivalió a 0.95 en Swan-Ganz y 1.0 en USCOM (IC 95%) (Tabla 2).

### 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 UTI, la colocación de dicho catéter ha caído en desuso; sin embargo, el catéter de Swan-Ganz sigue siendo el «estándar de oro» para la medición en tiempo real del GC y las resis-

**Tabla 2: Correlaciones.**

		GC por Swan-Ganz	GC por USCOM
GC por Swan-Ganz	Correlación de Pearson	1	0.9520**
	Significancia (bilateral)		00.000
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	28.470	25.440
	Covarianza	1.054	0.9420
	N	28	28
	Simulación de muestreo <sup>b</sup>		
	Sesgo	0	0.000
	Error estándar	0	0.000
	Intervalo de confianza a 95%		
	Inferior	1	0.952
GC por USCOM	Correlación de Pearson	0.952**	1.000
	Significancia (bilateral)	0.000	
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	25.440	25.070
	Covarianza	0.942	0.929
	N	28	28
	Simulación de muestreo <sup>b</sup>		
	Sesgo	0.000	0
	Error estándar	0.000	0
	Intervalo de confianza a 95%		
	Inferior	0.952	1
	Superior	0.952	1

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral)

<sup>b</sup> A menos que se indique lo contrario, los resultados de la simulación de muestreo se basan en 1,000 muestras de simulación de muestreo estratificado.

tencias sistémicas y pulmonares. La nueva tecnología de USCOM realiza las mediciones de forma no invasiva a través de integrales de cálculo por velocidades de flujo aórtico correlacionándose adecuadamente con las medidas obtenidas por catéter Swan-Ganz. La desventaja que existe es «el operador dependiente», ya que se necesita adiestramiento en la medición del flujo aórtico, pero éste es en menor tiempo que el adiestramiento para colocación del catéter de flotación.<sup>1,3</sup>

## CONCLUSIÓN

La medición del GC por catéter de arteria pulmonar se relaciona de forma significativa con las mediciones a través del dispositivo USCOM, que además es una medida no invasiva y segura en la monitorización hemodinámica del paciente crítico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Mateu CM, Ferrándiz SA, Gruartmoner VG, Mesquida FJ, Sabatier CC, Poveda HY y cols. Técnicas disponibles de monitorización hemodinámica. Ventajas y limitaciones. *Med Intensiva*. 2012;36(6):2010-2012.
- García X, Mateu L, Maynar J, Mercadal J, Ochagavía A, Ferrandiz A. Estimación del gasto cardiaco. Utilidad en la práctica clínica. Monitorización disponible invasiva y no invasiva. *Med Intensiva*. 2011;35(9):552-561.
- Wong LS, Yong BH, Young KK, Lau LS, Cheng KL, Man JS, et al. Comparison of the USCOM ultrasound cardiac output monitor with pulmonary artery catheter thermodilution in patients undergoing liver transplantation. *Liver Transpl*. 2008;14(7):1038-1043.
- Tan HL, Pinder M, Parsons R, Roberts B, van Heerden PV. Clinical evaluation of USCOM ultrasonic cardiac output monitor in cardiac surgical patients in intensive care unit. *Br J Anaesth*. 2005;94(3):287-291.
- Carrillo LA, Fiol SM, Rodríguez SA. El papel del catéter de Swan-Ganz en la actualidad. *Med Intensiva*. 2010;34(3):203-214.
- Ospina-Tascón GA, Cordioli RL, Vicent JL. What type of monitoring has been shown to improve outcomes in acutely ill patients? *Intensive Care Med*. 2008;34(5):800-820.
- Hodgson LE, Forni LG, Venn R, Samuels TL, Wakeling GH. A comparison of the non-invasive ultrasonic cardiac output monitor (USCOM) with the oesophageal Doppler monitor during major abdominal surgery. *J Intensive Care Soc*. 2016;17(2):103-110.
- Vincent JL, De Backer D. Circulatory shock. *N Engl J Med*. 2013;369(18):1726-1734.
- García X, Mateu L, Maynar J, Mercadal J, Ochagavía A, Ferrandiz A. Estimating cardiac output. Utility in the clinical practice. Available invasive and non-invasive monitoring. *Med Intensiva*. 2011;35(9):552-561. doi: 10.1016/j.medin.2011.01.014.
- Prys-Roberts C. The measurement of cardiac output. *Br J Anaesth*. 1969;41(9):751-760.
- Reuter DA, Huang C, Edrich T, Sherman SK, Eltzschig HK. Cardiac output monitoring using indicator-dilution techniques: basics, limits, and perspectives. *Anesth Analg*. 2010;110(3):799-811.
- Kadota LT. Theory and application of thermodilution cardiac output measurement: a review. *Heart Lung*. 1985;14(6):605-616.
- Stewart GN. Researches on the Circulation Time and on the Influences which affect it. *J Physiol*. 1897;22(3):159-183.
- Swan HJ, Ganz W, Forrester J, Marcus H, Diamond G, Chonette D. Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. *N Engl J Med*. 1970;283(9):447-451.
- Nishikawa T, Dohi S. Errors in the measurement of cardiac output by thermodilution. *Can J Anaesth*. 1993;40(2):142-153.
- Pinsky MR. *Hemodynamic profile, interpretation*. In: Tobin MJ, editors. *Principles and practice of intensive care monitoring*. New York: McGraw-Hill; 1998. p. 871-888.
- Vincent JL, Bihari D, Suter PM, Bruining HA, White J, Nicolas-Chanoine MH, et al. The prevalence of nosocomial infection in intensive care units in Europe, Results of the European Prevalence of Infection in Intensive Care (EPIC) study. EPIC International Advisory Committee. *JAMA*. 1995;274(8):639-644.
- Sakr Y, Vincent JL, Reinhart K, Payen D, Wiedermann CJ, Zandstra DF, et al. Use of the pulmonary artery catheter is not associated with worse outcome in the Intensive Care Unit. *Chest*. 2005;128(4):2722-2731.
- Iberti TJ, Daily EK, Leibowitz AB, Panacek EA, Silverstein JH, Albertson TE. A multicenter study of physicians knowledge of the pulmonary artery catheter, Pulmonary Artery Catheter Study Group. *JAMA*. 1990;264(22):2928-2932.
- Pölonen P, Ruokonen E, Hippeläinen M, Pöyhönen M, Takala J. A prospective, randomized study of goal oriented hemodynamic therapy in cardiac surgical patients. *Anaesth Analg*. 2000;90(5):1052-1059.
- Tuchschmidt J, Fried J, Astiz J, Rackow E. Elevation of cardiac output and oxygen delivery improves outcome in septic shock. *Chest*. 1992;102(1):216-220.
- Lobo SMA, Salgado PF, Castillo VG, Borim AA, Polachini CA, Palchetti JC, et al. Effects of maximizing oxygen delivery on morbidity and mortality in high risk surgical patients. *Crit Care Med*. 2000;28(10):3396-3404.
- Kern JW, Shoemaker WC. Meta-analysis of hemodynamic optimization in high-risk patients. *Crit Care Med*. 2002;30:1686-1692.
- Hadian M, Pinsky MR. Evidence-based review of the use of the pulmonary artery catheter: impact data and complications. *Crit Care*. 2006;10(Suppl 3):S8.
- Boyle M, Lawrence J, Belessis A, Murgo M, Shehabi Y. Comparison of dynamic measurements of pulse contour with pulsed heat continuous cardiac output in postoperative cardiac surgical patients. *Aust Crit Care*. 2007;20(1):27-32.
- USCOM Ltd. Available in: [http://www.uscom.com.au/]. Australia: The Association; c2000-2009 [Updated 2009; cited 2016 Nov 24]. USCOM Ltd; [About 55 screens]. Available in: http://www.talentmed.com.tw/download/UscomBasics.pdf

### Correspondencia:

María del Carmen Cruz Jiménez  
Calle 6 Sur Núm. 108,  
San Pedro Zacachimalpa, 72960,  
Puebla, Puebla.  
Tel: (222) 6034628.  
Cel: 5518732784  
E-mail: mariadelcarmen\_150789@hotmail.com