

REVISIÓN

Monitorización hemodinámica no invasiva o mínimamente invasiva en el paciente crítico en los servicios de urgencias y emergencias

Amadeo Almela Quilis¹, Javier Millán Soria², José Miguel Alonso Íñigo³, Pedro García Bermejo⁴

La monitorización hemodinámica no invasiva o mínimamente invasiva es una herramienta que se utiliza cada vez más en los servicios de urgencias y emergencias, para garantizar el adecuado aporte de oxígeno a los tejidos en el paciente crítico. Ayuda a establecer el diagnóstico diferencial de las posibles causas de *shock* y a optimizar el tratamiento, cuantificar sus efectos y evitar las posibles complicaciones derivadas del mismo. Los métodos convencionales de monitorización, por sí solos, se han mostrado insuficientes o poco eficientes, como la presión venosa central (SvcO₂), para la evaluación hemodinámica de los pacientes críticos. En los últimos años el desarrollo tecnológico ha permitido disponer de monitores que miden de forma continua el gasto cardiaco (GC) del paciente de forma no invasiva (mediante electrodos cutáneos manguito hinchable digital o sensores de fotoespectrometría) o mínimamente invasiva (mediante la canalización de una arteria periférica). Es importante conocer en la práctica clínica, las ventajas y limitaciones que tienen los sistemas de estimación del GC antes de su aplicación. La combinación de las variables clásicas, las variables hemodinámicas y la información anatómica y funcional que nos proporciona la ecografía va a permitir establecer algoritmos de actuación en los servicios de urgencias y emergencias y sistematizar el proceso de reanimación con la intención de obtener una recuperación más rápida.

Palabras clave: Monitorización hemodinámica. Servicios de Urgencias. Paciente Crítico.

None invasive and minimally invasive hemodynamic monitoring in critically ill patients in the emergency department

Noninvasive and minimally invasive hemodynamic monitoring systems are used increasingly in emergency departments to provide adequate tissue oxygenation in critically ill patients. Such monitoring assists in the differential diagnosis of shock, the optimization of treatment and assessment of its effects, and the prevention of complications during care. Recent years have seen the development of noninvasive monitors that measure cardiac output continuously by means of electrodes applied to the skin or spectrophotometric sensors. Minimally invasive systems connected to a peripheral artery catheter have also been developed. Conventional hemodynamic monitoring methods alone have sometimes proven inadequate or inefficient in this setting; an example is the measurement of central venous pressure. The clinician therefore needs to understand the advantages and limitations of the different systems for estimating cardiac output before choosing a monitor. Resuscitation protocols that facilitate the fastest possible recovery in emergency care can be established based on the combination of traditional variables, hemodynamic variables, and anatomical and functional data provided by ultrasonography.

Keywords: Hemodynamic monitoring. Emergency department. Critically ill patient.

Introducción

La monitorización hemodinámica avanzada constituye una herramienta ampliamente utilizada en los pacientes críticos, que permite obtener información acerca de la fisiopatología cardiocirculatoria, lo cual ayuda a realizar el diagnóstico y guiar la terapéutica en situaciones de inestabilidad hemodinámica¹. El uso de este tipo de monitorización, si bien inicialmente quedaba circunscrito a las unidades de cuidados críticos, gracias al desarrollo tecnológico y cada vez a su menor complejidad, se ha ido extendiendo progresivamente a los servicios de urgencias y emergencias²⁻⁵. En la actualidad podemos disponer de monitores² que miden de forma continua el gasto cardiaco (GC) del paciente de forma

no invasiva (mediante electrodos cutáneos, manguitos hinchables digitales o sensores de fotoespectrometría) o mínimamente invasiva (mediante la canalización de una arteria periférica)⁶⁻⁷. Los métodos convencionales de monitorización como la presión arterial (PA), la frecuencia cardiaca o la pulsioximetría, por sí solos se han mostrado insuficientes, y otros, como la presión venosa central (PVC) o la SvcO₂ resultan poco eficientes para la evaluación hemodinámica y la estimación clínica del GC de los pacientes críticos⁸⁻⁹. Diferentes estudios han demostrado su escasa utilidad para la detección de pacientes que responden al volumen y para la estimación de la precarga en pacientes inestables¹⁰.

El conocimiento del GC junto con la presión de perfusión de órgano son clave para el manejo de pacientes

Filiación de los autores:

¹Unidad de Corta Estancia, Hospital Arnau de Vilanova, Valencia, España.

²Jefe del Servicio de Urgencias y Unidad de Corta Estancia del Hospital Lluís Alcanyis, Xàtiva, Valencia, España.

³Servicio de Anestesia y Reanimación, Hospital Universitario y Politécnico La Fe, Valencia, España.

⁴Jefe del Servicio de Urgencias del Hospital de La Ribera, Alzira, Valencia, España.

Autor para correspondencia:

Javier Millán Soria
Servicio de Urgencias
H. Lluís Alcanyis de Xàtiva
Carretera Xàtiva a Silla, km 2
46800 Xàtiva, Valencia, España

Correo electrónico:

millan_jav@gva.es

Información del artículo:

Recibido: 17-10-2014

Aceptado: 27-11-2014

Online: 3-9-2015

en situación de inestabilidad hemodinámica o *shock* de cualquier etiología. La presión de perfusión de órgano suele tener muy buena correlación con la presión arterial media (PAM) y desde el punto de vista práctico se suele emplear de manera habitual como guía en el diagnóstico y el tratamiento. Sin embargo por sí sola no aporta información sobre el estado metabólico y funcional de los órganos y tejidos. Para ello es necesario conocer y complementar la información con datos del GC. El aporte de oxígeno a los tejidos (DO₂) es clave para asegurar el metabolismo aerobio celular y se define por la siguiente fórmula:

$$\text{DO}_2 = \text{GC} \times \{(\text{Hb} \times 1,34 \times \text{SO}_2) + (\text{PaO}_2 \times 0,0031)\}$$

donde Hb es hemoglobina, SO₂ es saturación arterial de O₂ y PaO₂ es la presión parcial de oxígeno en sangre arterial. Del análisis de esta fórmula se deduce que el mayor determinante del DO₂ es el GC. Por ello, la optimización del GC es fundamental para mantener el metabolismo aerobio en situaciones de inestabilidad hemodinámica. La conjunción de un flujo arterial (GC) y una presión de perfusión (PAM) adecuadas son clave para mantener un DO₂. En líneas generales, un aumento del GC condiciona un aumento del DO₂.

Los métodos clásicos de estimación de GC, basados en técnicas de termodilución transcardiaca (catéter de arteria pulmonar) o de termodilución transpulmonar (PiCCO®), son demasiado complejos para su uso en urgencias y emergencias y están reservados para pacientes con inestabilidad hemodinámica en las unidades de cuidados críticos.

Por otro lado, la ecocardiografía a la cabecera del paciente (FoCUS) como una técnica limitada, orientada por los signos y síntomas del paciente, centrada en unos pocos planos, semicuantitativa o cualitativa y llevada a cabo por clínicos, también proporciona de forma no invasiva una gran información de la función cardiocirculatoria en el *shock*¹¹, no solo acerca de su etiología, sino también durante la monitorización de la respuesta al tratamiento. Así, tiene un grado de recomendación 1 (nivel de evidencia A) en pacientes con hipotensión o inestabilidad hemodinámica¹². Esta técnica también se ha ido incorporando en los últimos años de forma progresiva en los servicios de urgencias y en las unidades que atienden a pacientes críticos en todo el mundo. Dada la entidad que por sí sola tiene la ecografía, en este artículo solo nos vamos a centrar en el uso de los diferentes sistemas de monitorización, tratando de establecer su utilidad y aplicabilidad en el campo de las urgencias y emergencias.

Es importante conocer las ventajas y limitaciones que en la práctica clínica tienen los sistemas de estimación del GC antes de su aplicación¹³. A pesar de que aún no existe evidencia suficiente que recomiende su uso de forma sistemática¹⁴⁻¹⁶, cada vez hay más literatura científica que los avala en escenarios como urgencias y emergencias, ante pacientes en situación de inestabilidad hemodinámica de etiología multifactorial y fisiopatología compleja, como una ayuda esencial para detec-

tar precozmente situaciones de hipoperfusión, realizar una aproximación al diagnóstico y guiar de forma más segura el tratamiento²⁻⁵.

En la valoración hemodinámica del paciente crítico es necesario integrar estas variables con la información anatómica y funcional que nos proporciona la ecocardiografía^{7,8}, así como con signos biológicos y parámetros de oxigenación tisular para obtener una información completa que pueda guiar las decisiones terapéuticas^{17,18}.

En los servicios de urgencias y emergencias sus principales indicaciones serían^{6,15,18} similares a las de los pacientes ingresados en las unidades de cuidados intensivos con el objetivo de manejar precozmente a los pacientes en las siguientes situaciones:

- Persistencia de hipoperfusión tras 30-120 min del inicio de tratamiento intensivo generalmente con fluidos.
- Sospecha clínica y/o analítica de hipoperfusión tisular de etiología no aclarada (ácido láctico elevado, disminución de exceso de bases, procalcitonina elevada, etc...).
- Pacientes de alto riesgo: comorbilidad importante, inmunosupresión, patología cardiovascular previa o hemoglobinopatías.
- Inestabilidad hemodinámica de etiología multifactorial
- Uso y titulación de fármacos vasoactivos.
- Evaluación de la interacción corazón/pulmón en pacientes tratados con ventilación mecánica (invasiva o no invasiva).

Tipos de monitores hemodinámicos

La monitorización hemodinámica continua proporciona información no solo del GC (generalmente expresado en términos del índice de masa corporal, es decir como índice cardiaco (IC), sino de sus determinantes: precarga, contractilidad y postcarga.

Los factores clave a la hora de elegir el tipo de monitorización hemodinámica en urgencias son la complejidad del cuadro, el tiempo de evolución de la hipoperfusión y la disponibilidad de equipos en nuestro ámbito de trabajo. Una técnica menos invasiva puede ser preferible si puede obtenerse más rápida y fácilmente, incluso si es ligeramente menos exacta, especialmente en situaciones en las que se requiere una valoración rápida de la situación del paciente^{1,14}. La monitorización poco o no invasiva es más eficaz cuanto antes se aplique y cuando mejor se reconozca el monitor^{6,19}.

Todos los monitores aportan un conjunto mínimo básico de datos hemodinámicos que son la clave de su uso, tales como el GC e IC y los valores predictores de precarga, como la variabilidad de la presión de pulso (VPP) y variabilidad del volumen sistólico (VVS), que se expresan en porcentaje. El resto de parámetros relacionados con la contractilidad, el rendimiento cardiaco y las resistencias vasculares dependen de cada monitor y su interpretación es más controvertida.

El método considerado como patrón oro para la medición del GC desde su introducción en 1970 es el

Tabla 1. Características de los principales monitores mínimamente invasivos

Especificaciones técnicas	MostCare® (Vygon)	FloTrac®/Vigileo® (Edwards)	ProAQT® (Pulsion)	LIDCOrapid® (LIDCO)
Análisis de onda	ABC onda arterial	DE de 2000 ondas analizadas	ABC onda arterial	RMC de señal de pulso arterial
Análisis de impedancia	Estimación directa de la impedancia arterial	Estimación de impedancia arterial por nomogramas	Estimación de impedancia arterial por calibración	Estimación de impedancia arterial por nomogramas
Requerimientos	Arteria periférica o central	Arteria periférica o central	Arteria periférica o central	Arteria periférica
Calibración	No	No	Sí	No
Indicador	Ninguno	Ninguno	Salino	No
Parámetros adicionales	CCE, dP/dT	No	No, opcional	No

DE: desviación estándar; ABC: área bajo curva. RMC: raíz media al cuadrado; CCE: eficiencia del ciclo cardiaco; dP/dT: derivada presión-tiempo. GEDV: volumen telediastólico global; EVLW: agua extravascular total; PVPI: índice de permeabilidad capilar pulmonar; dPmax: derivada presión-tiempo; GEF: fracción de eyección global.

obtenido por termodilución con el catéter de la arteria pulmonar^{13,14}. A pesar de que esta técnica tiene sus limitaciones y podría no ser el comparador de elección, la mayoría de los métodos de estimación del GC ha sido evaluada mediante la comparación con los datos obtenidos por termodilución. También permite obtener parámetros hemodinámicos como la presión en la arteria pulmonar (PAP) o la presión de oclusión de la arteria pulmonar (POAP) y parámetros relacionados con el transporte (DO₂) y consumo (VO₂) de oxígeno en los tejidos a través de la saturación venosa mixta de oxígeno (SvO₂). Este método sigue siendo el método de referencia en clínica, aunque su uso ha disminuido debido a su invasividad y a la controversia sobre sus indicaciones y posibles complicaciones útiles en urgencias y emergencias^{21,22}. A efectos prácticos los sistemas de monitorización se podrían dividir en dos grupos: los mínimamente invasivos y los no invasivos.

Monitores mínimamente invasivos

Su característica común es que necesitan de la canalización de una arteria periférica, habitualmente la radial.

La mayoría de ellos se basa en el análisis del contorno de la onda de pulso según la fórmula enunciada por Otto Frank, mediante la cual se puede estimar el volumen sistólico (VS) a través del análisis de la porción sistólica de la curva de presión arterial²³. Los valores del GC se obtienen mediante el producto del VS por la frecuencia del pulso. La mayor parte proporcionan de forma continua variables de precarga, poscarga y contractilidad y además calculan la VPP o el VVS, lo que permite dirigir la fluidoterapia y analizar la respuesta al volumen. La diferencia entre los aparatos existentes estriba en cómo cada monitor calcula el VS a través de la onda de pulso arterial, en los algoritmos que usan, en el modo de calibración, en el lugar de canalización arterial, en los parámetros analizados y en la exactitud con la que determinan el GC^{1,28,29} (Tabla 1).

Los sistemas disponibles son PRAM-MostCare® (Vygon), FloTrac®/Vigileo® (Edwards), PICCO® (Pulsion), LIDCOrapid® (LIDCO), y Pro-Aqt® (Pulsion). De ellos el método PRAM-MostCare® (Figura 1) es el que más se aproxima en nuestra opinión al monitor ideal en las áreas de urgencias y emergencias debido a su fácil puesta en marcha, gran definición de la morfología de onda



Figura 1. Principales monitores mínimamente invasivos utilizados en urgencias. 1. Monitor Mostcare® basado análisis del contorno del pulso. 2. Monitor NICOM® por biorreactancia.

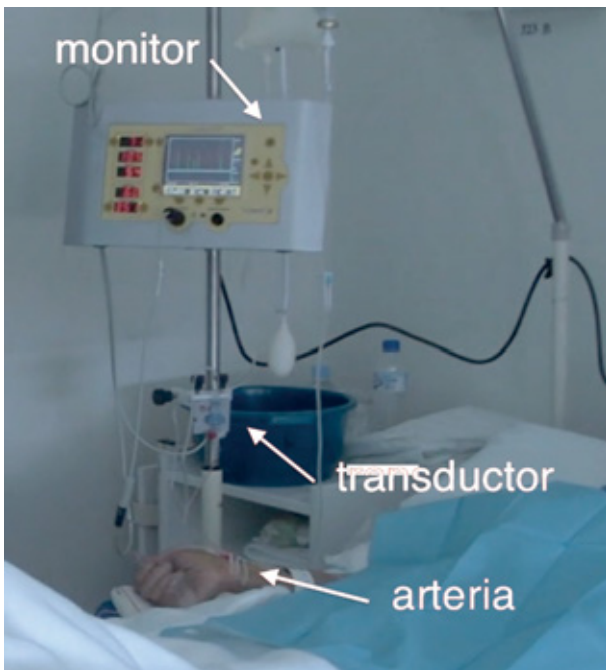


Figura 2. Elementos necesarios para la monitorización mediante una línea arterial.

arterial (frecuencia de muestreo de 1.000 Hz), no precisar fungible propio y poder emplearse en cualquier tipo de paciente e incluso importar señales de otros monitores o monitorizar simultáneamente a varios pacientes³⁰⁻³².

Para la utilización de este tipo de monitores es necesario (Figura 2):

- Monitor con módulo de medición de presiones.
- Bolsa de solución salina de 500-1.000 cc con sistema de manguito de presurización.
- Tubo de conducción rígido de líquidos de 150 cm estándar.
- Sistemas de traducción con llaves de tres pasos para conexiones y realizar el cero.
- Canalización de la arteria radial: Las complicaciones son infrecuentes (< 1%) e incluyen vasoespaso tran-

Tabla 2. Características de los principales de monitores no invasivos

Especificaciones técnicas	NICOM® (Cheetah Medical)	AESCULON®	Clearsight®
Análisis de onda	Biorreactancia VE		Fotopletismografía
Requerimientos	4 pegatinas: 2 a cada lado del cuerpo	4 pegatinas: 2 en cuello y dos en mismo hemitórax	Manguito hinchable en el dedo
Calibración	Sí	No	No
Parámetros adicionales	FTC	TFI, ICON, LCW	dP/dT

FTC: fluido torácico total; TFI: índice fluido torácico; ICON: índice de contractilidad; LCW: trabajo cardíaco izquierdo; dP/dT: derivada presión-tiempo.

sitorio, hematoma local, trombosis, infección o lesión de estructuras vecinas.

Antes de comenzar a interpretar resultados es imprescindible: 1) realizar el cero para calibrar el sistema con la presión atmosférica, y 2) disponer de una buena onda arterial que no presente signos de amortiguación (onda aplanada que subestima los valores de PA del paciente) ni de resonancia (onda aberrada que sobreestima las cifras de PA del paciente). Siempre se debe purgar bien el sistema, eliminar burbujas, evitar tubos excesivamente largos o conexiones innecesarias, así como evitar acodadura o deterioro del catéter arterial. Para esto último, es muy importante el material seleccionado.

Monitores no invasivos

Se caracterizan por no precisar de una técnica invasiva. La detección del VS se realiza a través de electrodos cutáneos. Están basados bien en la biorreactancia (NICOM®) en la velocimetría eléctrica (AESCULON®) o en la pletismografía fotoeléctrica de la onda de pulso (CLEARLIGHT®) en combinación con un maguito hinchable en el dedo (Tabla 2). Aunque todavía no se dispone de suficientes estudios sobre su utilidad y fiabilidad^{6,18,33} en pacientes críticos, el monitor NICOM®

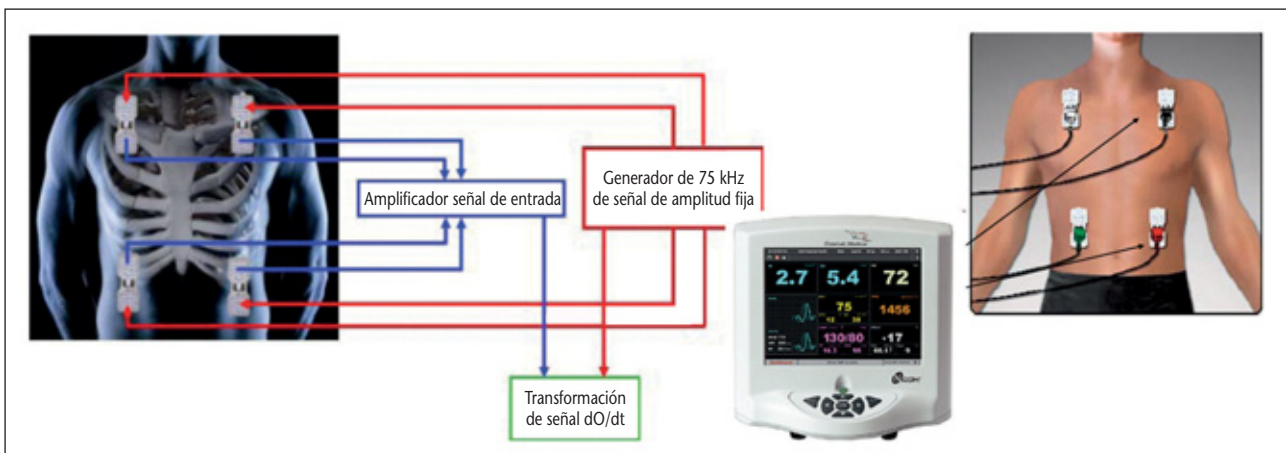


Figura 3. Sistema de monitorización por biorreactancia. ©Cheetah Medical Inc 10291 N. Meridian Suit 100. Indianapolis In 46290 EEUU.

Tabla 3. Interpretación de las principales variables hemodinámicas

Parámetro	Valores normales	Interpretación
GC	4-8 l/min	FC x VS
IC	2,5-3,5 l/min/m ²	GC/SC
VS	60-100 ml/lat	Sangre eyectada en cada contracción
IVS	33-47 ml/lat/m ²	VS/SC
VVS	< 10%	Variación entre dos valores. Valora la PRECARGA y la RESPUESTA A VOLUMEN
VPP	- Si VM y volumen corriente > 8 ml/kg; VPP > 15% - Si VE + Valsalva: VPP > 50%	Variación entre dos valores. Valora la PRECARGA y la RESPUESTA A VOLUMEN
IRVS	1.500-2.500 dynas/sec cm ²	Valoración de la POSTCARGA y de la RESPUESTA a VASOPRESORES
PAM	70-105 mmHg	$PAM = \frac{PAD + PAS - PAD}{3}$
dP/dT	0,8-1,7	Aproximación para valoración de la CONTRACTILIDAD. Valores inferiores pueden indicar la necesidad de realización de una ecocardiografía
PVC	1-6 mmHg	PAD que valora la función del VD y la precarga del VD
PCP	4-12 mmHg	De forma indirecta estima la presión AI y precarga VI
PAP	9-19 mmHg	Mide la postcarga pulmonar

FC: frecuencia cardiaca; VS: volumen sistólico; GC: gasto cardiaco; SC: superficie corporal; VPP: variación de la presión del pulso; PAM: presión arterial media; PAS: presión arterial sistólica; PAD: presión arterial diastólica; AD: aurícula derecha; AI: aurícula izquierda; VI: ventrículo izquierdo; PAP: presión arterial pulmonar; VM: ventilación mecánica; VE: ventilación espontánea.

(Figura 1) es el sistema más utilizado y con mayor número de publicaciones. La biorreactancia se basa en el análisis del cambio de fase que se produce en la onda eléctrica de frecuencia que es emitida al tórax por los cambios en el volumen sanguíneo (Figura 3).

Los sistemas no invasivos solo requieren:

- Medidas de limpieza de la zona donde se colocan las pegatinas con alcohol y secado posterior.
- Inserción en el lugar recomendado por el fabricante.
- Colocación del manguito de medición de PA.
- Encendido y, si precisa, calibración del monitor.

De forma general, aquellos pacientes más graves, complejos y que precisen una monitorización más precisa se beneficiarán de monitores más invasivos, mientras que los monitores no invasivos serán de gran utilidad en pacientes menos graves o en plantas de hospitalización convencional³⁴.

Valoración e interpretación de las principales variables hemodinámicas

En este apartado se describen las variables hemodinámicas más importantes relacionadas con la determinación del GC, centrándose principalmente en la evaluación de la precarga (Tabla 3). Es muy importante integrar la información del monitor con otras técnicas diagnósticas empleadas en el manejo del shock como la ecocardiografía^{15,16}, biomarcadores, constantes vitales, etc. con el fin de tener una visión lo más completa y multidimensional posible. No hay ninguna técnica que por sí sola diagnostique la hipoperfusión tisular.

Monitorización del GC

Es una determinación fundamental que evalúa la función cardiaca global. Este parámetro hemodinámico depende de la contractilidad, pero también de la precarga y de la postcarga. Generalmente se empleará el IC como medida de referencia, cuyos valores normales se sitúan entre 2,5 y 4,5 L/min/m². Permite clasificar a los pacientes

en unos patrones hemodinámicos desde un punto de vista fisiopatológico (bajo gasto en la IC grave o hipovolemia; estado hiperdinámico en pacientes con sobrecarga de volumen, hipertiroidismo, sepsis...), muy útiles en la práctica clínica, así como evaluar el pronóstico en función de su valor absoluto y guiar el éxito de las medidas terapéuticas empleadas^{35,36}. No obstante, es necesario contextualizar sus valores con otras variables hemodinámicas.

Evaluación de la precarga

La administración de volumen es el tratamiento de elección en la mayoría de los pacientes con inestabilidad hemodinámica. Los estudios recientes enfatizan la necesidad de una resucitación con administración de

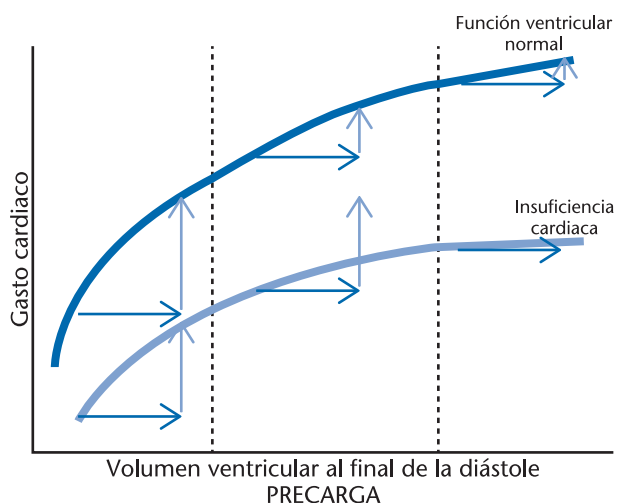


Figura 4. Ley de Frank-Starling. A medida que incrementa el volumen diastólico final del VI, mayor es el volumen de eyección ventricular. En pacientes con insuficiencia cardiaca, el margen de maniobra para aumentar el volumen sistólico es mucho menor. Si a los pacientes con una precarga baja, es decir, aquellos que se encuentran en la zona vertical de la curva, se podrá mejorar su hemodinámica mediante la infusión de volumen.

volumen precoz y "agresiva", ya que puede limitar o revertir la hipoxia tisular y la progresión a fallo orgánico, mejorando el pronóstico^{1,37,38}. Sin embargo, solo el 50% de los pacientes críticos responden a la administración de fluidos incrementando su volumen sistólico (VS) y su GC^{39,40}, existiendo una clara asociación entre el balance hídrico acumulado y la mortalidad⁴¹. Desde un punto de vista práctico es fundamental identificar a aquellos pacientes que son precarga-dependientes (que responden a la infusión de líquidos) de aquellos que no responden. En estos últimos, la administración de fluidos podría generar iatrogenia [parte plana de la curva de Frank-Starling (Figura 4)] resultando por tanto un tratamiento inútil y potencialmente perjudicial⁴².

Existen varias formas de estimar la precarga de forma no invasiva o mínimamente invasiva:

- Parámetros dinámicos: los parámetros más estudiados son la VPP y VVS durante un ciclo respiratorio en pacientes sometidos a ventilación mecánica, basándose en la interacción corazón-pulmón⁴⁰. El aumento de la presión intratorácica ocasiona un descenso del retorno venoso, de la eyección ventricular y de la precarga y por tanto un cambio significativo en el VS y en la presión de pulso (ya que esta es directamente proporcional al VS) cuando los ventrículos operan en la parte ascendente de la curva de función ventricular (zona de dependencia de precarga). Valores superiores al 15% de la VPP y de un 10% de la VVS predicen la respuesta al aporte de volumen con una alta sensibilidad y especificidad, aunque es preferible evaluar VVP frente a la VVS, ya que la presión del pulso es un parámetro medido mientras que el VS es un parámetro estimado⁴¹. Debe recordarse que la adecuada interpretación de la VVP, así como de VVS requiere que el paciente esté conectado a ventilación mecánica (VM) y sin trabajo muscular, ya que la oscilación no controlada de la onda de pulso en los pacientes con ventilación espontánea (VE) no permite una lectura adecuada. Estos parámetros tampoco están validados en pacientes con arritmias cardíacas y su valor predictivo es menor en aquellos ventilados con volúmenes bajos (< 8 ml/kg)⁴⁴. A pesar de estas limitaciones, en la práctica clínica pacientes con VE e hipovolemia presentan valores elevados de la VVS, que disminuye al iniciar un tratamiento con fluidos, con un aumento concomitante de la PA y del GC. Una publicación reciente sobre pacientes con ventilación espontánea con *shock* séptico ha evidenciado que valores de VVS mayores o iguales del 17% son capaces de predecir la respuesta hemodinámica a la infusión de volumen con un valor predictivo positivo del 100% y un valor predictivo negativo del 82% (p 0,03), lo cual pone de manifiesto la utilidad de los parámetros dinámicos en pacientes no ventilados.

- Test de elevación pasiva de miembros inferiores (Figura 5): es un método útil tanto en pacientes sometidos a VM como con VE y también demostrada en aquellos con arritmias. Consiste en elevar al menos 1 min (60-90 segundos) 45° sobre el plano de la cama las piernas de forma pasiva partiendo de la posición de

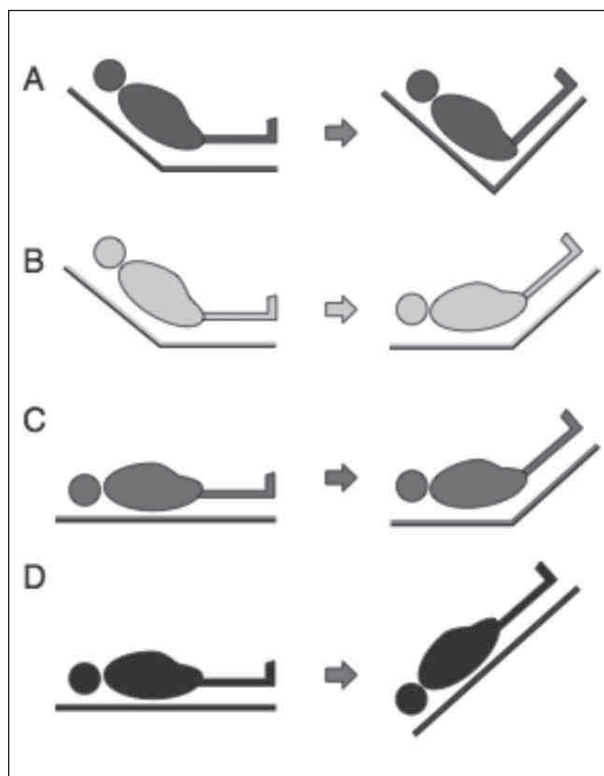


Figura 5. Test de elevación de las piernas para valorar la respuesta al volumen.

deúbito supino.(equivale a 300 ml de fluido). Una elevación del IC igual o superior a 10% predice la respuesta al volumen con una sensibilidad y especificidad superiores a 90%⁴⁶.

- Variación de la presión de pulso con las maniobras de Valsalva: la realización de una maniobra de Valsalva en pacientes con VE predice con una sensibilidad del 91% y una especificidad del 95% una respuesta al volumen cuando la VPP es superior a 52% respecto de la previa³⁹.
- Sobrecarga de volumen: una administración rápida de 250 ml de suero salino permitirá evaluar si existe un incremento del IC indicativo de respuesta al volumen. Esta maniobra debería quedar reservada únicamente para aquellos casos en los que no son aplicables ninguno de los parámetros anteriores⁴⁷.

Aproximación a la contractilidad

La contractilidad se define como la capacidad del corazón para generar trabajo de forma independiente de las condiciones de carga. Actualmente no existen métodos validados que permitan una correcta aproximación a la contractilidad miocárdica, ya que la mayoría de los índices disponibles en el ámbito experimental o clínico son parcialmente dependientes de la precarga o de la poscarga y además es necesaria la instrumentación invasiva del ventrículo izquierdo para la estimación simultánea de medidas de presión y volumen, lo que dificulta su determinación^{35,48}. Sin embargo, determinados parámetros obtenidos de forma no invasiva o mínimamente

Tabla 4. Patrones hemodinámicos asociados a los principales tipos de *shock*

Tipo de <i>shock</i>	GC	PAM	RVS	PVC	PCP	PAP	SvO ₂
Cardiogénico	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓
Hipovolémico	↓	↓	N/↑	↓	↓	↓	↓
Obstrutivo	↓	↓	N/↑	↑	N/↑	↑	↓
Distributivo:	↑	↓	↓	↓	↓	N/↓	N/↑
<i>Shock</i> anafiláctico	↓	↓	↓	↓			
<i>Shock</i> neurogénico	N/↓	↓	↓	↓			
Insuficiencia suprarrenal	↓		N/↓	↑↓	↑↓		↓
<i>Shock</i> séptico hiperdinámico	↑		↓	↑↓	↑↓		↑
<i>Shock</i> séptico hipodinámico	↓		↑	↑↓	↑↓		↑↓

GC: gasto cardiaco; PAM presión arterial media; RVS resistencias vasculares sistémicas; PVC presión venosa central; PCP presión capilar pulmonar; PAP presión arterial pulmonar; SvO₂ saturación oxígeno en sangre venosa; N: normal.

invasiva a través del análisis del contorno de la onda de pulso arterial y de la morfología de la curva de PA permiten cuantificar de una forma sencilla el estado de contractilidad del corazón y el acoplamiento ventrículo-arterial como medida indirecta del trabajo miocárdico. Una alteración de la derivada Presión/Tiempo (dP/dT) o del Índice de contractilidad (ICON) puede apoyar a la necesidad de realizar una ecocardiografía urgente para evaluar la función ventricular y permite obtener parámetros, como la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI), fundamentales para su valoración.

Otros parámetros evalúan la eficiencia del rendimiento cardiaco como el ciclo de eficiencia cardiaco (CCE), el cual es un buen indicador tanto de contractilidad como de gasto energético calculado, respecto del consumo ideal. De forma práctica, es una alarma que pone sobre aviso de que algo no funciona bien.

Valoración de la postcarga

Los valores de postcarga, como el índice de resistencias vasculares sistémicas (IRVS) y cuyas cifras normales oscilan entre 1.400 y 2.400 dynas/seg/m², son valores derivados del cálculo del GC y por tanto deben interpretarse con mucha precaución, ya que no son medidos directamente por el monitor⁴⁸. También la relación entre la VPP y la VVS, llamada elastancia dinámica (Eadyn), podría ayudar a la estimación del tono vascular y ser utilizada en los algoritmos de reanimación hemodinámica, aunque todavía no existen suficientes estudios que lo avalen⁴⁹.

Abordaje práctico de la monitorización hemodinámica en los servicios de urgencias: protocolos de actuación

Desde los trabajos de Rivers *et al.* en la década de los 90 quedó puesto de manifiesto que el tratamiento guiado por objetivos y el empleo de protocolos de actuación reduce la mortalidad en pacientes en situación de *shock* séptico³⁸. Aunque este estudio ha sido criticado, un reciente metanálisis indica que el empleo de una terapia guiada por objetivos hemodinámicos en el paciente séptico aplicada de forma precoz, disminuye la mortalidad⁵⁰.

En urgencias, a la hora de monitorizar al paciente crítico seguirá siendo fundamental obtener las variables clásicas, también definidas como objetivos del proceso de reanimación¹, entre las que se encuentran la PAM, lactato y la saturación venosa de oxígeno⁵¹, ya que son las que marcarán el final del proceso de reanimación. Por tanto, será necesaria la determinación de estas variables de forma repetida, después de las diferentes intervenciones terapéuticas, hasta su normalización de forma mantenida en el tiempo⁵².

Además, las variables propiamente hemodinámicas obtenidas mediante los distintos sistemas y monitores del GC, proporcionarán un mayor conocimiento de las alteraciones fisiopatológicas que se producen en el paciente crítico, y ayudarán en el diagnóstico diferencial del *shock* (Tabla 4) y a optimizar el tratamiento, cuantificar sus efectos y evitar las posibles complicaciones derivadas del mismo. La monitorización hemodinámica, por tanto, es fundamental para garantizar el adecuado aporte de oxígeno a los tejidos en el paciente crítico.

La combinación de las variables clásicas, las variables hemodinámicas y la información anatómica y funcional que proporciona la ecografía va a permitir establecer algoritmos de actuación (Figuras 6 y 7) en los servicios de urgencias y emergencias y sistematizar el proceso de reanimación con la intención de obtener una más rápida recuperación.

Conclusiones

A la hora de escoger el sistema de monitorización, deberemos tener en cuenta la tecnología disponible en nuestro servicio, la experiencia con cada uno de los sistemas, el sitio donde se va a realizar la monitorización, el coste-efectividad, así como factores propios del paciente.

El sistema de monitorización debería ser sencillo, seguro, fácil de usar, operador independiente, coste efectivo, preciso y debería proporcionarnos la información suficiente para poder dirigir el tratamiento y las maniobras de resucitación^{1,15,53}. Sin embargo, ningún sistema en la actualidad cumple todos estos requisitos, por lo que de forma general, aquellos pacientes más graves, complejos y que precisen una monitorización más precisa se beneficiarán de monitores más invasi-

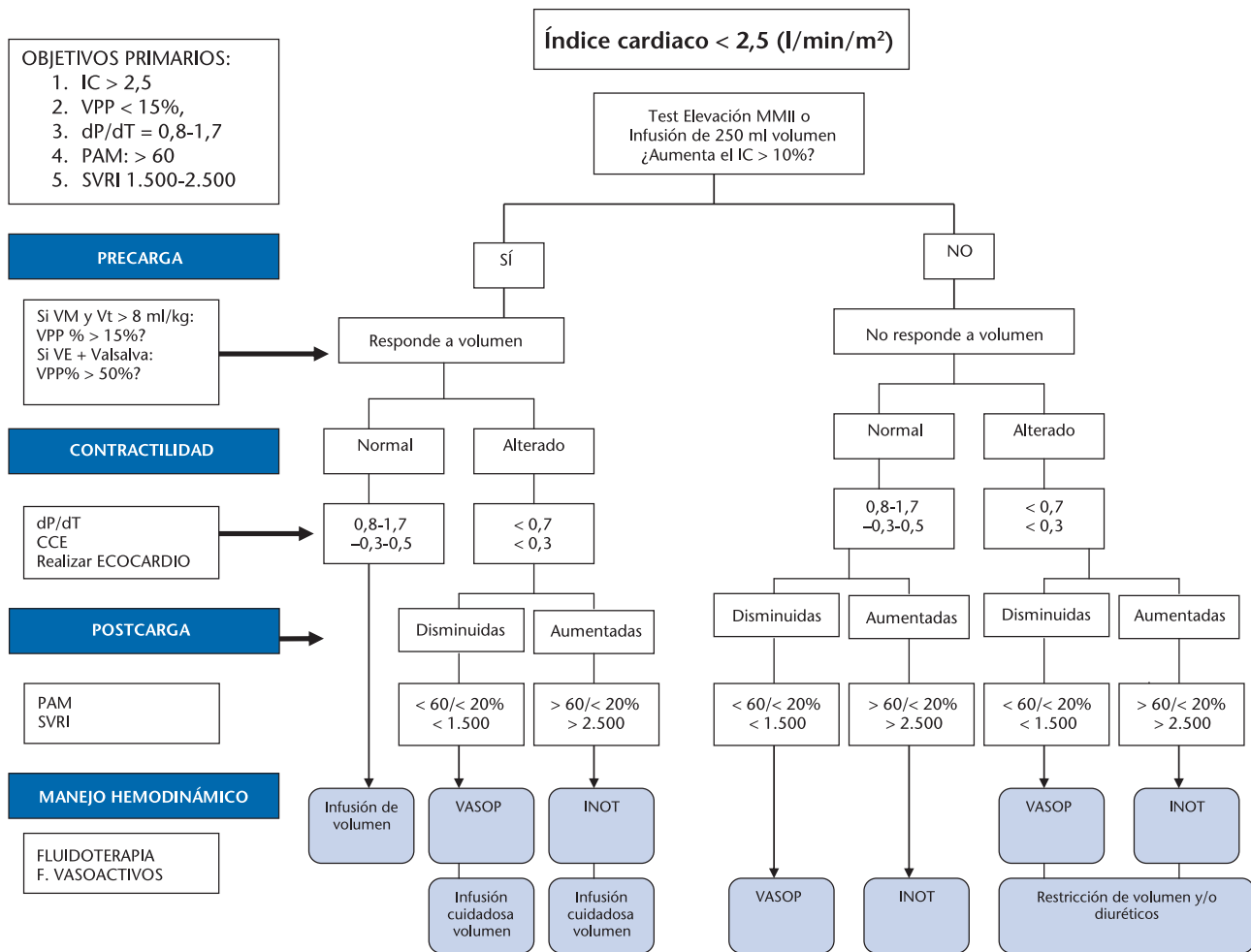


Figura 6. Algoritmo del manejo hemodinámico en el paciente con bajo índice cardiaco. VM: ventilación mecánica. VE: ventilación espontánea. IC: índice cardiaco. MMII: miembros inferiores. VPP: variación de la presión del pulso. dP/dT: derivada presión/tiempo. CCE: ciclo de eficiencia cardiaca. PAM: presión arterial media. SVRI: resistencias vasculares periféricas. VASOP: vasopresores. INOT: inotrópicos.

vos, mientras que los monitores no invasivos serán de gran utilidad en pacientes menos graves en los servicios de urgencias o en plantas de hospitalización convencional⁴⁷ para confirmar un diagnóstico preliminar, ver la respuesta a volumen y la evolución de pacientes de menos riesgo o como paso previo al ingreso en una unidad de cuidados intensivos^{1,54}.

La monitorización avanzada en urgencias debería ser un requisito imprescindible a la hora de mejorar el tratamiento de los pacientes en situación de *shock*, cuya situación no permite demoras y necesitan de una atención especializada, basada en protocolos, multidisciplinar y fundamentada en el arrollador desarrollo tecnológico actual.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en relación al presente artículo.

Bibliografía

- Ochagavía A, Baigorri F, Mesquida J, Ayuela JM, Fernández A, García X, et al. Monitorización hemodinámica en el paciente crítico. Recomendaciones del Grupo de Trabajo de Cuidados Intensivos Cardiológicos y RCP de la Sociedad Española de Medicina Intensiva, Crítica y Unidades Coronarias. *Med Intensiva*. 2014;38:1545-69.
- Middleton PM, Davies SR. Noninvasive hemodynamic monitoring in the emergency department. *Curr Opin Crit Care*. 2011;17:342-50.
- Chan SS, Agarwal N, Narain S, Tse MM, Chan CP, Ho GY, et al. Noninvasive Doppler ultrasound cardiac output monitor for the differential diagnosis of shock. *Am J Emerg Med*. 2012;30:629-30.
- Winters ME, McCurdy MT, Zilberstein J. Monitoring the critically ill emergency department patient. *J Emerg Med Clin North Am*. 2008;26:741-57.
- Duchateau FX, Gauss T, Burnod A, Ricard-Hibon A, Juvin P, Mantz J. Feasibility of cardiac output estimation by ultrasonic cardiac output monitoring in the prehospital setting. *Eur J Emerg Med*. 2011;18:357-9.
- Mateu Campos M, Ferrándiz Sellés A, Guartmoner de Vera G, Mesquida Febrer J, Sabatier Cloarec C, Poveda Hernández Y, et al. Técnicas disponibles de monitorización hemodinámica. Ventajas y limitaciones. *Med Intensiva*. 2012;36:434-44.
- Mehta Y, Arora D. Newer methods of cardiac output monitoring. *World J Cardiol*. 2014;6:1022-9.
- Nowak RM, Sen A, Garcia AJ, Wilkie H, Yang JJ, Nowak MR, et al. The inability of emergency physicians to adequately clinically estima-

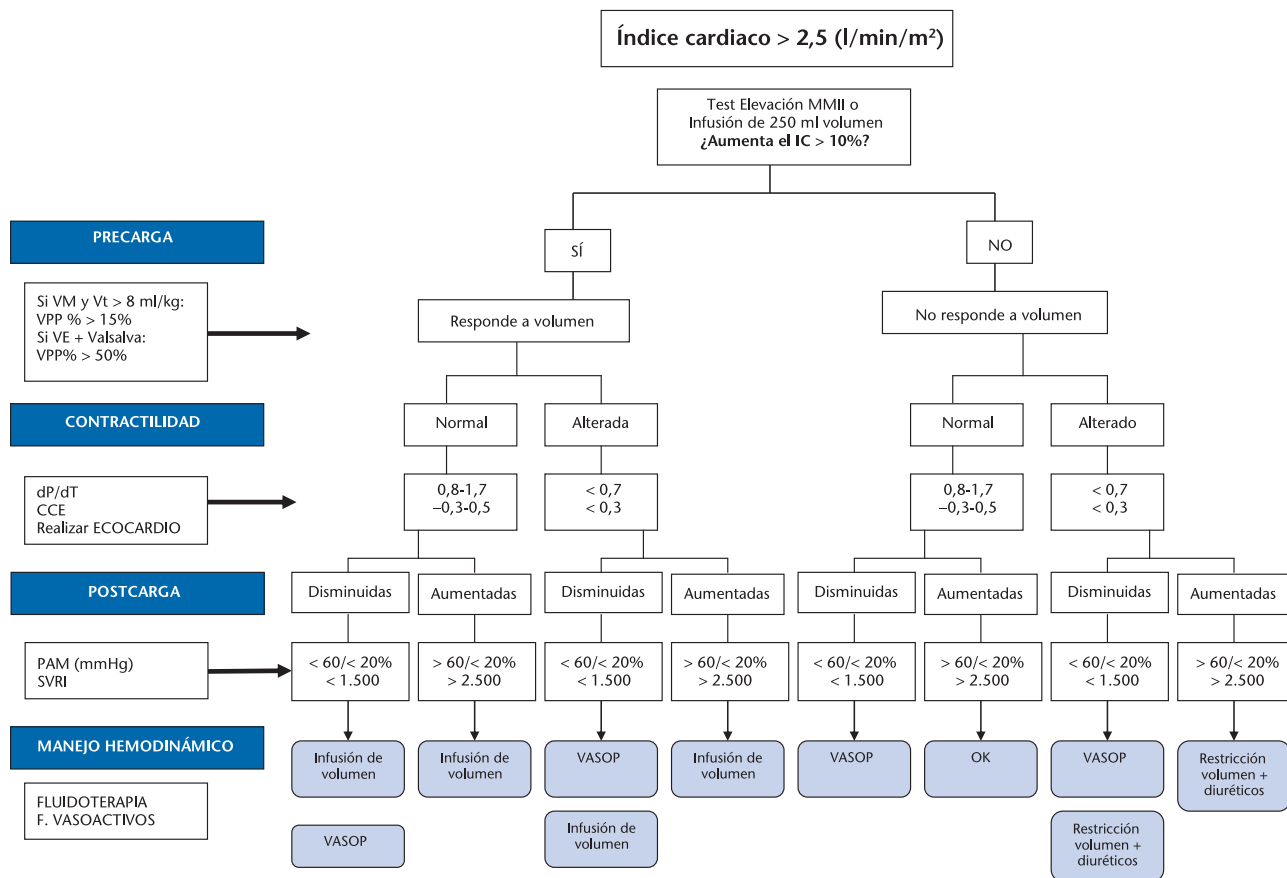


Figura 7. Algoritmo del manejo hemodinámico en el paciente con alto índice cardiaco. VM: ventilación mecánica. VE: ventilación espontánea. IC: índice cardiaco. MMII: miembros inferiores. VPP: variación de la presión del pulso. dP/dT: derivada presión/tiempo. CCE: ciclo de eficiencia cardiaca. PAM: presión arterial media. SVRI: resistencias vasculares periféricas. VASOP: vasopresores. INOT: inotrópicos.

te the underlying hemodynamic profiles of acutely ill patients. *Am J Emerg Med.* 2012;30:954-60.

9 Gelman S. Venous function and central venous pressure: A physiologic story. *Anesthesiology.* 2008;108:735-48.

10 Marik PE, Baram M, Vahid B. Does the central venous pressure predict fluid responsiveness? A systematic review of the literatura and the tale of seven mares. *Chest.* 2008;134:172-8.

11 Labovitz AJ, Noble VE, Bierig M, Goldstein SA, Jones R, Kort S, et al. Focused Cardiac Ultrasound in the Emergent Setting: a Consensus Statement of the American Society of Echocardiography and American College of Emergency Physicians. *J Am Soc Echocardiogr.* 2010;23:1225-30.

12 International Liaison Committee on Focused Cardiac UltraSound (ILC-FoCUS). International Evidence-Based Recommendations for Focused Cardiac Ultrasound. *J Am Soc Echocardiogr.* 2014;27:683.e1-683.e33.

13 Vincent JL, Rhodes A, Perel A, Martin GS, Della Roca G, Vallet B, et al. Clinical review: Update on hemodynamic monitoring-consensus of 16. *Crit Care.* 2011;15:229.

14 Antonelli M, Levy M, Andrews PJD, Chastre J, Hudson LD, Manthous C, et al. Hemodynamic monitoring in shock and implications for management. International Consensus Conference, Paris, France, 27-28 April 2006. *Intensive Care Med.* 2007;33:575-90.

15 Alhashemi J, Ceconi M, Hofer CH. Cardiac output monitoring: An integrative perspective. *Crit Care.* 2011;15:214.

16 Ayuela Azcárate JM, Clau Terré F, Ochagavía A, Vicho Pereira R. Papel de la ecocardiografía en la monitorización hemodinámica de los pacientes críticos. *Med Intensiva.* 2012;36:220-32.

17 Mayo PH, Beaulieu Y, Doelken P, Feller-Kopman D, Harrod C, Kaplan A, et al. American College of Chest Physician/La Sociétéde Réanimation de Langue Française statement on competence in critical care ultrasonography. *Chest.* 2009;135:1050-60.

18 García X, Mateu L, Maynar J, Mercadal J, Ochagavía A, Ferrandiz A, et al. Estimación del gasto cardiaco. Utilidad en la práctica clínica.

Monitorización disponible invasiva y no invasiva. *Med Intensiva.* 2011;35:5552-61.

19 Swan HJC, Ganz W, Forrester JS, Marcus H, Diamond G, Cho-nette D. Catheterization of the heart in man with the use of a flow-directed balloon tipped catheter. *N Engl J Med.* 1970;283:447-51.

20 Carrillo López A, Fiol Sala M, Rodríguez Salgado A. El papel del Swan-Ganz en la actualidad. *Med Intensiva.* 2010;34:203-14.

21 Connors AF, Speroff T, Dawson NV, Thomas C, Harrell Jr FE, Wagner D, et al, for the SUPPORT Investigators. The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. *JAMA.* 1996;276:889-97.

22 Goedje O, Hoeke K, Lichtwarck-Aschoff M, Faltchauer A, Lamm P, Reichart B. Continuous cardiac output by femoral arterial thermodilution calibrated pulse contour analysis: Comparison with pulmonary arterial thermodilution. *Crit Care Med.* 1999;27:2407-12.

23 Frank O. The basic shape of the arterial pulse. First treatise: mathematical analysis. 1899. *J Mol Cell Cardiol.* 1990;22:255-77.

24 Perel A. Automated assessment of fluid responsiveness in mechanically ventilated patients. *Anesth Analg.* 2008;106:1031-3.

25 Berkenstadt H, Margalit N, Hanani M, Friedman Z, Segal E, Villa Y, et al. Stroke volume variation as a predictor of fluid responsiveness in patients undergoing brain surgery. *Anesth Analg.* 2001;92:984-9.

26 Cannesson M, Delannoy B, Morand A, Rosamel P, Attouf Y, Bastien O, et al. Does the Pleth variability index indicate the respiratory-induced variation in the plethysmogram and arterial pressure waveforms? *Anesth Analg.* 2008;106:1189-94.

27 Cannesson M, Sliker J, Desebbe O, Bauer C, Chiari P, Hénaine R, et al. The ability of a novel algorithm for automatic estimation of the respiratory variations in arterial pulse pressure to monitor fluid responsiveness in the operating room. *Anesth Analg.* 2008;106:1195-200.

28 Mathews L, Singh K. Cardiac output monitoring. *Ann Cardiac Anaesth.* 2008;11:56-68.

29 Sakka SG, Kozieras J, Thuemer O, van Hout N. Measurement of cardiac output: A comparison between transpulmonary thermo-dilution

- and uncalibrated pulse contour analysis. *Br J Anaesth.* 2007;99:337-42.
- 30 Romano SM, Lazzeri C, Chiostrì M, Gensini GF, Franchi F. Beat-to-beat analysis of Pressure Wave Morphology for pre-symptomatic detection of orthostatic intolerance during head-up tilt. *JACC.* 2004;44.
- 31 Van Lieshout JJ, Wesseling KH. Continuous cardiac output by pulse contour analysis? *Br J Anaesth.* 2001;86:467-99.
- 32 Scolletta S, Romano SM, Biagioli B, Capannini G, Giomarelli P. Pressure recording analytical method (PRAM) for measurement of cardiac output during various haemodynamic states. *BR J Anaesth.* 2005;95:159-65.
- 33 Squara P, Denjean D, Estagnasie P, Brusset A, Dib JC, Dubois C, et al. Noninvasive cardiac output monitoring (NICOM): A clinical validation. *Intensive Care Med.* 2007;33:1191-4.
- 34 Mateu ML, Ferrándiz A, Gruartmoner G, Mesquida J, Sabatier C, Poveda Y, et al. Técnicas disponibles de monitorización hemodinámica. Ventajas y limitaciones. *Med Intensiva.* 2012;20:434-44.
- 35 La Vecchia L, Varotto L, Spadaro GL, Zanolla L, Fontanelli A. Left ventricular stroke work reserve as prognostic marker in severe heart failure. *Minerva Cardioangiol.* 2006;54:249-55.
- 36 Cotter G, Williams SG, Vered Z, Tan LB. Role of cardiac power in heart failure. *Curr Opin Cardiol.* 2003;18:215-22.
- 37 Levy MM, Macias WL, Russell JA, Williams MD, Trzaskoma BL, Silva E, et al. Failure to improve during the first day of therapy is predictive of 28-day mortality in severe sepsis. *Chest.* 2004;124Suppl:1205.
- 38 Rivers E, Nguyen B, Havstad S, Ressler J, Muzzin A, Knoblich B, et al. Early goal-directed therapy in the treatment of severe sepsis and septic shock. *N Engl J Med.* 2001;345:1368-77.
- 39 Sabatier C, Monge I, Maynar J, Ochagavía A. Valoración de la precarga y la respuesta cardiovascular al aporte de volumen. *Med Intensiva.* 2012;36:45-55.
- 40 Bendjelid K, Romand JA. Fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: A review of indices used in intensive care. *Intensive Care Med.* 2003;29:352-60.
- 41 Murphy CV, Schramm GE, Doherty JA, Reichley RM, Gajic O, Afessa B, et al. The importance of fluid management in acute lung injury secondary to septic shock. *Chest.* 2009;136:102-9.
- 42 Sabatier C, Monge García MI, Maymar J, Ochagavía YA. Valoración de la precarga y la respuesta cardiovascular al aporte de volumen. *Med Intensiva.* 2011;46-55.
- 43 Michard F, Teboul JL. Using heart-lung interactions to assess fluid responsiveness during mechanical ventilation. *Crit Care.* 2000;4:282-9.
- 44 De Backer D, Heenen S, Piagnerelli M, Koch M, Vincent JL. Pulse pressure variations to predict fluid responsiveness: Influence of tidal volume. *Intensive Care Med.* 2005;31:517-23.
- 45 Lanspa NJ, Grissom CK, Hirshberg EL, Jones JP, Brown SM. Applying dynamic parameters to predict hemodynamic response to volumen expansion in spontaneously breathing patients with septic shock. *Shock.* 2013;39:155-60.
- 46 Cavallaro F, Sandroni C, Marano C, La Torre G, Mannocci A, De Waure C, et al. Diagnostic accuracy of passive leg raising for prediction of fluid responsiveness in adults: Systematic review and meta-analysis of clinical studies. *Intensive Care Med.* 2010;36:1475-83.61.
- 47 Vincent JL, Weil MH. Fluid challenge revisited. *Crit Care Med.* 2006;34:1333-7.
- 48 Ochagavía A, Zapata L, Carrillo A, Rodríguez A, Guerrero M, Ayuela JM. Evaluación de la contractilidad y la poscarga en la unidad de cuidados intensivos. *Med Intensiva.* 2012;36:365-74.
- 49 Monge Garcia MI, Gil Cano A, Gracia Romero M. Dynamic arterial elastance to predict arterial pressure response to volume loading in pre-load-dependent patients. *Crit Care.* 2011;15:R15.
- 50 Gu WJ, Wang F, Bakker J, Tang L, Liu JC. The effect of goal-directed therapy on mortality in patients with sepsis-earlier is better: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Crit Care.* 2014;18:570.
- 51 Mesquida J, Borrat X, Lorente JA, Masip J, Baigorri F. Objetivos de la reanimación hemodinámica. *Med Intensiva* 2011; 35:499-508.
- 52 Shafiro NI, Howell MD, Talmar D, Lahey D, Ngo L, Buras J, et al. Implementation and outcomes of the multiple urgent sepsis therapies (MUST) protocol. *Crit care Med.* 2006;34:1025-32.
- 53 Slagt C, Breuker RM, Groeneveld J. Choosing patient-tailored hemodynamic monitoring. *Crit Care.* 2010;14:208.
- 54 Alhashemi J, Cecconi M, Hofer CH. Cardiac output monitoring: An integrative perspective. *Crit Care.* 2011;15:214.