

## Artículo Revisión

# Volemia y manejo de los líquidos en cuidados intensivos cardiovasculares (Parte 1)

## Blood volume and fluid management in cardiovascular intensive care (Part 1)

Héctor A Bonaccorsi

Instituto Cardiovascular de Rosario, Hospital Provincial del Centenario. Rosario, Argentina

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido el 15 de enero de 2016

Aceptado después de revisión

el 07 de febrero de 2016

Online en [www.revistafac.org.ar](http://www.revistafac.org.ar)

El autor declara no tener conflicto de intereses

### Palabras clave:

Alteraciones de la volemia  
Administración de líquidos  
Cuidados intensivos

### Keywords:

Intravascular volume  
Fluids management  
Intensive care

### RESUMEN

Las alteraciones de la volemia son de aparición frecuente en los pacientes internados en las salas de cuidados intensivos y su tratamiento inadecuado puede tener repercusión grave.

No existen todavía criterios homogéneos de manejo, pero recientemente se han publicado resultados impactantes sobre intervenciones terapéuticas. Estos hallazgos pueden ser explicados por la modificación del modelo de desplazamiento de los líquidos en la microcirculación que se introdujo en los últimos años.

Por otro lado, existen en el mercado distintos equipos diagnósticos de modalidad semi-invasiva o no invasiva que intentan competir con el método invasivo tradicional.

Por tanto, parece justificada una revisión del conocimiento actual sobre el tema en cuestión.

### Blood volume and fluid management in cardiovascular intensive care (Part 1)

### ABSTRACT

Intravascular volume changes are frequently found in critically ill patients; an inappropriate treatment can result in a serious outcome.

There are still no uniform management criteria, but valuable information on therapeutic interventions has been published recently. These findings can be explained by the modification of the intravascular fluid exchange model that occurred over recent years.

Furthermore, different semi-invasive or noninvasive diagnostic devices attempting to compete with the traditional invasive method have appeared in the market.

Therefore, a review of the current knowledge on the subject seems to be justified.

Si bien en la revisión que sigue se resaltan aspectos relacionados al postoperatorio inmediato de cirugía cardiovascular, la mayor parte de su contenido es aplicable a los cuidados intensivos de los pacientes con enfermedades cardiovasculares, no operados, y a los pacientes en estado crítico sin patología cardiovascular.

### JUSTIFICACIÓN

El estudio de las alteraciones de la volemia y su necesidad diagnóstica y tratamiento encuentran su justificación en una serie de razones poderosas.

1. Este tipo de problemas son de aparición muy frecuente y se presentan a diario en los pacientes que requieren cuidados intensivos. Lo mismo se aplica para quienes cursan el postoperatorio inmediato de cirugía cardiovascular<sup>1</sup>.

2. No hay, al momento actual, criterios homogéneos de manejo. Un ejemplo de esto es la diferente proporción en

la tasa de uso de soluciones coloides y cristaloides en este contexto. Finfer S y col. relevaron 391 unidades de cuidados intensivos polivalentes de 25 países, que atendieron 1.955 pacientes en 4.488 episodios de resucitación con líquidos. Globalmente se usaron más coloides a pesar de ser más caros y tener más efectos indeseables, pero llamativamente la selección no estuvo influenciada por la severidad de la enfermedad (escala APACHE) sino por el país<sup>2</sup>.

3. El tratamiento inadecuado de estas alteraciones puede tener repercusión grave en el paciente. Así, la hipovolemia puede producir hipoperfusión tisular con su consecuente disfunción orgánica (ej. insuficiencia renal), lo cual puede traducirse en resultados adversos, mientras que la hipervolemia puede dar lugar a edema tisular, también un potencial productor de disfunción orgánica (ej. edema pulmonar), y expresarse, asimismo, en resultados adversos<sup>3</sup>. Además, la corrección inadecuada de una de las alteraciones de la vole-

mia puede conducir a la otra en forma no deseada.

4. En los últimos tiempos han aparecido evidencia científica y equipamiento significativos que deberían cambiar el modo tradicional de ver estas situaciones, como mencionaremos, detalladamente, más adelante.

## DEFINICIONES

A los fines de este escrito vamos a utilizar las siguientes definiciones:

- **Volemia** es el volumen de sangre que llena las estructuras vasculares. Dado que, desde un punto de vista estructural y estático, el volumen de sangre no es mensurable al momento actual en el contexto de cuidados intensivos, es necesario apoyarse en el concepto de circulación.

- **Circulación** es el volumen de sangre en movimiento que permite la perfusión tisular para satisfacer las demandas metabólicas. Este es un concepto funcional y dinámico que se adapta mucho más al paciente crítico, aún cuando el contenido vascular no sea el único elemento que determina la circulación. El modelo cardiovascular, contempla además del contenido vascular, la barrera vascular, el generador de flujo sanguíneo y el tono vascular; elementos que se encuentran relacionados entre sí<sup>4</sup>. Así, el volumen de sangre puede estar conservado pero la volemia circulante efectiva puede ser inadecuada debido a una precarga cardíaca baja (ej. disminución de la distensibilidad ventricular), a una disminución del tono vascular (ej. vasodilatación por drogas), etc.

## FISIOLOGÍA NORMAL Y PATOLÓGICA

### 1. Desplazamiento de los líquidos en la microcirculación

#### 1.1. La ecuación de Starling (tradicional)

En 1.896, E. Starling elaboró una ecuación con la cual intentó describir las fuerzas que intervienen en el intercambio de líquidos en la microvasculatura:

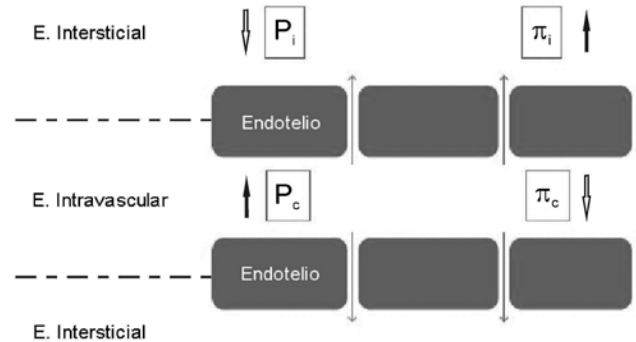
$$J_v/A = L_p\{(P_c - P_i) - \sigma(\pi_c - \pi_i)\}$$

En donde:  $J_v/A$ : volumen de filtración por unidad de área endotelial,  $L_p$ : coeficiente de conductividad del capilar al agua,  $P_c$ : presión hidrostática capilar,  $P_i$ : presión hidrostática intersticial,  $\sigma$ : coeficiente de reflexión de los solutos que expresa la permeabilidad a las proteínas de un tipo de capilar dado,  $\pi_c$ : presión osmótica del plasma,  $\pi_i$ : presión osmótica del líquido intersticial pericapilar<sup>5</sup>. En la **Figura 1** se esquematizan las fuerzas básicas que se proponen; dos que tienden a retener el líquido dentro de los vasos, ( $P_i$  y  $\pi_c$  – flechas vacías) y otras dos que facilitan su desplazamiento fuera de ellos ( $P_c$  y  $\pi_i$  – flechas llenas). Su resultado neto produce un filtrado continuo hacia el espacio intersticial (flechas delgadas).

#### 1.2. El Glicocaliz

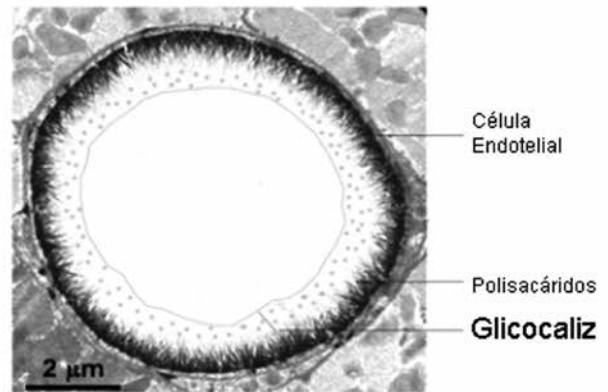
Los componentes clásicamente descriptos de la barrera vascular son el endotelio vascular, la membrana basal del mismo y la matriz extracelular subyacente. Sin embargo,

hace unos pocos años se ha reconocido la relevancia clínica de un elemento adicional, el Glicocaliz (**Figura 2**). Es así como algunas funciones que anteriormente se atribuían a otros componentes de la barrera vascular hoy se sabe que le son propias.



**FIGURA 1.**

$P_c$ : presión hidrostática capilar,  $P_i$ : presión hidrostática intersticial,  $\pi_c$ : presión osmótica del plasma,  $\pi_i$ : presión osmótica del líquido intersticial pericapilar, E: espacio.



**FIGURA 2.**

Componentes clásicamente descriptos de la barrera vascular: endotelio vascular, membrana basal del mismo y matriz extracelular subyacente.

El Glicocaliz es una capa de glicoproteínas y proteoglicanos de 1  $\mu$ m (0.2-8  $\mu$ m) de espesor que recubre la luz del endotelio sano. En su interior contiene un tercio del volumen del plasma, que de este modo toma el estado de no circulante pero en equilibrio con la porción circulante.

El Glicocaliz es semi-permeable a la albúmina y para funcionar requiere que su nivel plasmático sea normal, pero es impermeable a moléculas mayores a 70 kDa.

Además de prevenir la adhesión leucocitaria y agregación plaquetaria, a su través se genera un gradiente de concentración de proteínas y de presión coloidosmótica por lo cual se lo considera un determinante mayor de la permeabilidad capilar. Esto puede ser explicado por el modelo Glicocaliz-Hendidura.

En el citado modelo las principales vías conductoras de líquido son las hendiduras intercelulares de las células endoteliales ya que en la mayoría de los microvasos las acuaporinas de la membrana de la célula endotelial

contribuyen solo con un 10% de la conductancia. Estas hendiduras intercelulares que existen entre las células endoteliales están cubiertas en su lado luminal por el Glicocaliz. Sus características estructurales y las de las hendiduras intercelulares hacen que la concentración de proteínas en el subglicocaliz, y por tanto la presión oncótica (PO), sea muy baja y por lo tanto despreciable. Las razones que pueden explicar esto son:

- El coeficiente de reflexión de las proteínas plasmáticas del glicocaliz semipermeable que cubre la hendidura intercelular ( $\sigma$ ) es alto, y
- Por las características de la hendidura, que posee interrupciones estrechas, a medida que el ultrafiltrado converge para pasar a través de ellas, su velocidad aumenta impidiendo la difusión hacia arriba de las proteínas del líquido intersticial.

Por esto, la única fuerza de PO que subsiste de la ecuación tradicional de Starling es la plasmática (la intersticial desaparece). Con esto queda eliminada una de las fuerzas que tiende a desplazar líquido fuera de los vasos.

Varias situaciones pueden dañar el Glicocaliz; entre ellas se menciona a la isquemia-reperusión, la sepsis, la hiperglucemia aguda, la injuria quirúrgica, la hipervolemia aguda iatrogénica, etc.<sup>5</sup> Por tanto, no parece extraño que también se lo haya encontrado deteriorado en el contexto de la cirugía cardiovascular, con o sin bomba de circulación extracorpórea.<sup>6</sup>

### 1.3. La ecuación de Starling revisada

El modelo Glicocaliz-hendidura ha hecho que la ecuación de Starling deba ser corregida como sigue:  $J_v/A = L_p[(P_c - P_i) - \sigma(\pi_c - \pi_g)]$ ; donde  $\pi_g$  es la presión oncótica en el subglicocaliz.

Las fuerzas importantes son la diferencia de presión hidrostática transendotelial y la diferencia de PO entre el plasma y el subglicocaliz. La PO del intersticio no es un determinante directo de la tasa de filtración transendotelial (Figura 3)<sup>7</sup>.

## 2. Distribución de los líquidos corporales

### 2.1. Modelo tradicional

En un humano promedio de 75 Kg, el volumen de agua corporal total es de aproximadamente 45 L, el 60% del peso corporal. Dos tercios de ese volumen corresponden al líquido intracelular (30 L) y el tercio restante (15 L) constituye el líquido extracelular.

Dos tercios del líquido extracelular (10 L) constituyen el líquido intersticial y el tercio restante (5 L), el contenido vascular. De este último, el volumen del plasma es de aproximadamente 3 L (el 7% del agua corporal total - 3/45- y el 20% del liq. extracelular - 3/13) y los 2 L restantes corresponden al volumen de los eritrocitos.

Se describe también un espacio de líquido transcelular, no intercambiable, constituido por los líquidos del ojo, la secreción gastrointestinal y el líquido cefalorraquídeo<sup>8</sup>.

Es conveniente recordar que un soluto en una solución separada de otra por una membrana semipermeable (ej. barre-

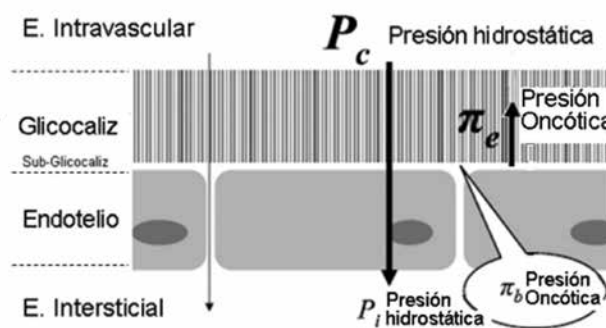


FIGURA 3.

Diferencia de presión hidrostática transendotelial y la diferencia de PO entre el plasma y el subglicocaliz.

ra vascular, membrana celular) genera una presión osmótica y que el agua es atraída por la solución con mayor presión osmótica para mantener la isotonicidad en todos los espacios.

En el modelo tradicional de distribución de los líquidos corporales el agua administrada se distribuye libremente en todos los espacios, el sodio y el cloro son mantenidos fuera de la célula (y el potasio dentro) por mecanismos activos y las macromoléculas plasmáticas como la albúmina y las globulinas no traspasan la pared vascular.

Por tanto, si infundimos por vía endovenosa una solución de dextrosa en agua, dado que la glucosa se metaboliza inmediatamente al ingresar al organismo y que el agua se distribuye en todos los espacios hídricos, solo el 7% del volumen infundido quedaría en el espacio intravascular. Si lo que administramos es una solución cristalóide (ej. solución salina - ClNa al 0.9%), y dado que el sodio es un ion extracelular, el líquido se va a distribuir en el espacio extracelular y solo el 20% del volumen infundido iría a parar al espacio intravascular. A fines de este escrito, llamemos a esta última situación "Mito n° 1".

De acuerdo al mismo modelo, si infundimos una solución coloide por vía endovenosa, en virtud del tamaño de las moléculas del componente activo, el 100% del volumen administrado quedaría en el espacio intravascular. Llamaremos a esta última situación "Mito n° 2".

### 2.2 Información discordante con el Mito n° 1

En los últimos años ha aparecido información que modifica el modelo tradicional de los líquidos corporales y por tanto lo que acontece cuando se administran líquidos endovenosos

En primer lugar, se ha visto que el espacio de distribución de las soluciones cristalóides es menor al calculado, por la existencia de órganos donde no hay espacio intersticial distensible, como el hígado, el bazo, el riñón, la médula ósea y el cerebro, que se encuentran rodeados de cápsulas o de hueso<sup>9</sup>. Esto explica que en las mediciones dinámicas el espacio intersticial es 6-8 litros menor que en las mediciones anatómicas<sup>10</sup>.

Por otro lado, hoy sabemos que con presión capilar baja (hipovolemia) y barrera vascular íntegra, las soluciones

cristaloides no abandonan el espacio vascular. Esto puede ser explicado por lo que conocemos del modelo Glicocaliz-hendidura y las necesarias modificaciones introducidas a la ecuación de Starling tradicional.

La implicancia práctica de lo anteriormente expuesto es que los cristaloides, como expansores del contenido vascular, son casi tan efectivos como los coloides; como han mostrado los grandes estudios multicéntricos, sobre administración de líquidos endovenosos, aparecidos en los últimos años<sup>11,12</sup>.

### 2.3. Información discordante con el Mito n° 2

En aquellas situaciones en las cuales la barrera vascular se daña (frecuentes en el postoperatorio inmediato de cirugía cardíaca) tanto los cristaloides como los coloides abandonan la circulación. Más aún, cuando estos últimos difunden al intersticio, aumentan la probabilidad de extravasación del líquido endovascular<sup>13,14</sup>.

De modo similar al punto anterior, la implicancia práctica de esto último es que en un escenario de barrera vascular dañada, la administración de coloides no es más eficaz que la de cristaloides para la expansión del contenido vascular y genera edema tisular.

### 3. Alteraciones de la volemia en el postoperatorio de cirugía cardiovascular

En el postoperatorio inmediato de cirugía cardiovascular se presentan frecuentemente alteraciones de la volemia. Por lejos, la más prevalente de ellas es la hipovolemia que puede estar causada por el tratamiento o el ayuno previo a la cirugía, la pérdida de líquidos (diuresis, sangrado, perspiración, etc.), el desplazamiento de líquido al espacio intersticial y la disminución del retorno venoso al corazón (alto volumen corriente de asistencia respiratoria mecánica, alta presión de fin de espiración, drogas vasodilatadoras), entre otras.

La hipervolemia, en tanto, puede ser debida a administración excesiva de líquidos, insuficiencia renal, etc.

Se tratará, a continuación y con algo de detenimiento, el desplazamiento de líquido al espacio intersticial por ser una causa característica y muy frecuente de hipovolemia en el postoperatorio inmediato.

#### 3.1. Desplazamiento de líquido al espacio intersticial

El desplazamiento de líquido del espacio endovascular al espacio intersticial, en volúmenes marcados, trae aparejada la disminución de la volemia. Las mediciones hechas al ingreso del paciente a la unidad de cuidados intensivos mostraron que, según el método utilizado para la detección, entre el 18% y 78% de los pacientes la sufre. En algunos estudios el 29% de los pacientes presenta una reducción mayor a 1 litro y en el 3% de ellos el déficit es mayor a 1.5 litros. De acuerdo al tratamiento que se haga, la hipovolemia puede continuar un número variable de horas, en el primer día de postoperatorio<sup>1,15</sup>.

La segunda consecuencia de este desplazamiento de fluidos es el aumento del líquido del espacio intersticial, el

cual alcanza su máximo nivel entre las 24 y 48 hs de postoperatorio. El líquido intracelular se altera poco o nada. Estas modificaciones de los espacios pueden ser cuantificadas por bioimpedancia<sup>16</sup>.

La administración de líquidos endovenosos que se realiza en esta situación aumenta más el espacio intersticial, produciendo un aumento del agua corporal total lo cual puede ser medido a través de la bioimpedancia, el peso corporal o el cálculo del balance hídrico. Este incremento del agua corporal alcanza su máxima expresión entre las 24 y 48 hs.<sup>16,17</sup>.

Los Mecanismos principales que conducen al desplazamiento de líquido del espacio vascular al intersticial son:

- Disminución de la presión coloidosmótica plasmática: Este cambio comienza con el inicio de la intervención quirúrgica y los niveles de presión coloidosmótica se van recuperando en cuestión de horas, en el postoperatorio inmediato<sup>18</sup>.
- Aumento de la permeabilidad capilar: La alteración de la permeabilidad capilar, la cual ha sido asociada al deterioro del glicocaliz (ver más arriba) y de los restantes elementos de la barrera vascular, sigue un curso similar a lo referido para la presión coloidosmótica en el postoperatorio de cirugía cardiovascular<sup>19</sup>.
- Vasodilatación: va acompañada necesariamente por desplazamiento de líquido fuera de los vasos. Esto se debe a que cuando la arteriola se dilata permite que la presión hidrostática en el capilar sea mayor que cuando se encuentra contraída. La vasodilatación afecta a un porcentaje significativo de los pacientes y su intensidad varía entre grados mínimos, sin repercusión clínica, hasta niveles altos, como se aprecia en el Síndrome Vasopléjico. Por tanto, su evolución puede ser más duradera que la de los dos mecanismos anteriores<sup>20</sup>.

### DIAGNÓSTICO Y CONTROL DEL TRATAMIENTO

La volemia, como volumen de sangre, puede medirse a través de diferentes técnicas, muchas de las cuales utilizan componentes sanguíneos marcados con isótopos radioactivos (Albúmina I<sup>131</sup> o I<sup>125</sup>, G. Rojos Cr<sup>51</sup> o Tc<sup>99</sup>, etc.). Sin embargo, estas técnicas no pueden ser aplicadas en un escenario de quirófano o cuidados intensivos porque insumen un tiempo desmesurado para las circunstancias; la más rápida tardaría 90 min, con un preinforme a los 30 minutos<sup>21,22,23</sup>

Por tanto, lo que se utiliza cotidianamente en estos contextos es la estimación del estado de la circulación, lo cual incluye a la volemia en un modelo dinámico. Este tipo de enfoque diagnóstico permite, además, establecer la presencia de algunas entidades que pueden estar asociadas o pueden confundirse con las alteraciones de la volemia (ej. disfunción miocárdica, vasoplejía, taponamiento cardíaco, etc.). Esto explica que, tomados globalmente, una proporción significativa de los pacientes no responde o responde parcialmente a la administración de líquidos. En el postoperatorio inmediato de cirugía cardiovascular este porcentaje alcanza al 30%<sup>24</sup>

Se expondrá a continuación la metodología para estimar el estado de la circulación, lo cual incluye a las alteraciones de la volemia.

## 1. Criterios tradicionales de falla circulatoria

Consideramos como criterios tradicionales a los signos hallados en el examen físico o la desviación de la normalidad de los signos vitales que se monitorean continuamente en la unidad de cuidados intensivos. A ellos se puede agregar, por la facilidad y frecuencia de utilización, algunos datos de laboratorio como la acidosis metabólica y el dosaje de la lactacidemia y al edema pulmonar que puede diagnosticarse por la radiografía simple de tórax en cama (*Tabla 1*).

**TABLA 1.**

Criterios tradicionales de falla circulatoria	
Hipotensión Arterial	Taquicardia
Oliguria	Alteración del estado mental
Palidez	Cianosis
Extremidades frías	Sudoración
Ingurgitación Yugular	3° ruido y Galope
Edema subcutáneo	Quemosis
Acidosis Metabólica	Lactacidemia
Edema pulmonar	

Probablemente, los dos signos físicos más usados para el diagnóstico de hipovolemia son la hipotensión arterial y la oliguria. En relación a esto, se debe tener cuidado con la definición de hipotensión arterial ya que en algunos contextos valores inferiores a los considerados normales son adecuados y suficientes. En el postoperatorio de cirugía cardiovascular solo debe considerarse cuando la presión arterial media es < 70 mmHg o la presión arterial sistólica es < 90 mmHg<sup>25</sup>.

Por otro lado, la oliguria no necesariamente es causada por hipovolemia, especialmente en el paciente no complicado, ya que forma parte de una respuesta normal a la injuria en general y a la cirugía en particular, que puede durar varios días. Es conocido que cualquier estrés quirúrgico favorece la vasoconstricción renal y la retención de sodio y agua a través del sistema simpático-adrenal, el sistema renina-angiotensina-aldosterona y la hormona antidiurética. Por tanto, puede haber oliguria sin hipovolemia real<sup>26</sup>.

### 1.1. Limitaciones

Los criterios tradicionales de falla circulatoria, si bien son usados diariamente, tienen limitaciones importantes. Estudios clásicos han mostrado que la estimación de la volemia y el volumen minuto cardíaco fue correcta en menos del 50% de los casos utilizando alguna combinación de estas variables clínicas<sup>27,28,29</sup>.

Por otro lado, se conoce que algunos signos vitales como la frecuencia cardíaca y la presión arterial se alteran luego de la pérdida del más del 30% de volemia, lo cual se refleja en la clasificación tradicional de shock hemorrágico<sup>30</sup>.

## 2. Criterios de precarga

En razón del conocimiento que se tiene de la modesta precisión de los criterios tradicionales de falla circulatoria,

desde hace años se utilizan los criterios de precarga cardíaca para estimar el estado de la circulación. Ellos son fundamentalmente la presión venosa central (PVC), la presión capilar de enclavamiento (PCW) y algunos criterios ecocardiográficos (*Tabla 2*).

**TABLA 2.**

Criterios de precarga
Presión Venosa Central
Presión Capilar de Enclavamiento
Área o Diámetro de Fin de Diástole Ventricular
Diámetro de Vena Cava Inferior
Índice de Variabilidad Respiratoria de VCI
Índice de Distensibilidad de VCI

VCI: vena cava inferior

Con respecto a estos últimos, el Diámetro de Vena Cava Inferior (VCI) cuando es mayor a 20 mm o se reduce menos del 50% con la inspiración espontánea es estimador de presión de aurícula derecha mayor a 10 mmHg.

El Índice de Variabilidad Respiratoria de la VCI se calcula con la siguiente ecuación:  $\text{diámetro máximo de VCI} - \text{diámetro mínimo de VCI} / (\text{diámetro máximo de VCI} + \text{diámetro mínimo de VCI}) / 2 \times 100$ . Su valor normal es mayor o igual a 12%<sup>31</sup>.

El Índice de Distensibilidad de la VCI responde a la fórmula:  $\text{diámetro máximo de VCI} - \text{diámetro mínimo de VCI} / \text{diámetro mínimo de VCI} \times 100$ . Su valor normal es mayor o igual a 18%<sup>32</sup>.

### 2.1. Limitaciones

Las limitaciones de los criterios de precarga no son pocas. En primer lugar, más de 100 estudios han mostrado la falta de relación entre la presión venosa central (o su cambio) y la volemia o la respuesta a líquidos<sup>33</sup>. Sin embargo, a pesar de los datos disponibles en su contra, este hábito no ha podido ser desterrado hasta hoy. Esto se patentiza en una encuesta alemana del año 2007 la cual mostró que el 87% de los intensivistas usaban la PVC para guiar la administración de líquidos en pacientes que se encuentran en el postoperatorio inmediato de cirugía cardiovascular<sup>34</sup>.

Por otro lado, es conocido que la presión capilar de enclavamiento no es buen estimador del volumen cuando la distensibilidad ventricular está alterada, lo cual es válido también para la cirugía sin circulación extracorpórea<sup>35</sup>. Estas alteraciones de la distensibilidad ventricular son frecuentes en los pacientes con algún grado de cardiopatía previa (hipertrofia, isquemia, edad avanzada, etc.), aún cuando esta sea asintomática, y en cualquier estado de injuria nueva con afectación sistémica por las modificaciones miocárdicas que traen aparejada (isquemia, edema, etc.). Los pacientes que cursan el postoperatorio inmediato de cirugía cardíaca constituyen un buen ejemplo.

Por último, las variables ecocardiográficas, si bien son atractivas desde un punto de vista teórico, su obtención en

muchos lugares es problemática por distintas razones operativas como la reducida disponibilidad de equipos y de personal capacitado, la falta de continuidad del monitoreo, los inconvenientes en la ventana acústica en el paciente recién operado, etc.

Por lo anterior, no resulta extraño que el Consenso sobre Shock Circulatorio del año 2014 recomiende que las mediciones de precarga utilizadas comúnmente (tales como PVC, PCW o el volumen o área de fin diástole global) no sean usadas solas para guiar la resucitación con líquidos<sup>36</sup>.

### 3. Criterios de volumen minuto o volumen sistólico

Los criterios que se basan en la medición del volumen minuto o el volumen sistólico (VM/VS) son muchos y muy variados. Las técnicas para la obtención de estas variables abarcan desde el método de termodilución, para el cual se necesita tener ubicado un catéter de flotación en la arteria pulmonar, hasta los varios métodos no invasivos o mini-invasivos que se han difundido en los últimos años (*Tabla 3*).

**TABLA 3.**

Técnicas de medición o estimación de volumen minuto/sistólico.
Termodilución
Análisis del contorno de la onda de pulso
Reinhalação de CO <sub>2</sub>
Doppler esofágico
Bioimpedancia transtorácica
Tiempo de tránsito de la onda de pulso
Variación respiratoria del volumen sistólico y subrogadas
Diferencia Arterio-Venosa de O <sub>2</sub>
Saturación Venosa Mixta de O <sub>2</sub>
Saturación Venosa Central de O <sub>2</sub>

En la actualidad estos criterios son considerados más útiles que los criterios de precarga y se recomienda que sean utilizados en forma dinámica, aplicando el principio de Franz-Starling. Esto es, si el valor obtenido en la medición corresponde a un VM/VS bajo, realizar la intervención terapéutica (ej. administración de líquido - 3 ml/Kg en 5 min.). Luego constatar si el VM/VS ha aumentado significativamente (>10%), lo cual autoriza a seguir con la intervención. Inversamente, en ausencia de aumento significativo o de caída del VM/VS no es conveniente continuar interviniendo<sup>8</sup>.

A continuación, analizaremos brevemente algunos de los métodos disponibles para la medición o estimación de volumen minuto o volumen sistólico.

#### 3.1 Termodilución (Catéter de Flotación en Arteria Pulmonar)

La medición del volumen minuto por termodilución con un catéter de flotación en la arteria pulmonar de tipo Swan-Ganz sigue siendo el "patrón oro" con el cual se comparan los métodos nuevos que requieren un análisis de su precisión.

Los equipos e insumos para realizar esta medición son baratos respecto de la mayoría de los métodos más modernos y menos invasivos.

Sus limitaciones más importantes al presente son que se necesita que el personal se haya capacitado para realizarla y que se trata de un método invasivo que requiere punción venosa central y un cateterismo cardíaco de cavidades derechas.

En cuanto a sus complicaciones, si bien se discutió mucho en el pasado sobre sus posibles efectos dañinos, hoy el estado de cosas puede resumirse como sigue.

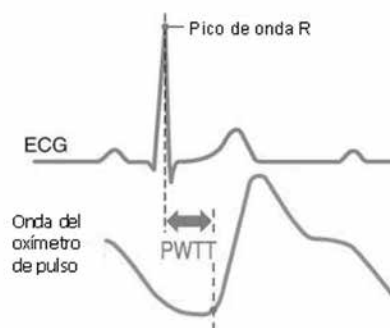
Las complicaciones más frecuentes son benignas y las graves son raras<sup>37,38</sup>.

En realidad, la complicación más importante es no poder obtener o interpretar la información que el método brinda y no poder tomar decisiones adecuadas con ella.

En parte, esto puede ser refrendado por encuestas realizadas en varios países como EEUU y Canadá (500 médicos) y Francia, Suiza y Bélgica (535 médicos) que mostraron que solo 1 de cada 2 profesionales pudo leer correctamente la verdadera presión capilar de enclavamiento<sup>39,40</sup>. Otra encuesta realizada a 1.095 miembros de la Sociedad de Medicina Crítica de los EEUU mostró también que solo 2 de cada 3 médicos pudo leer correctamente la verdadera presión capilar<sup>41</sup>.

#### 3.2. Tiempo de Tránsito de la Onda del Pulso

El tiempo de tránsito de la onda del pulso (PWTT) ha sido propuesto recientemente para estimar el volumen sistólico con el cual guarda una relación inversa. Se trata del tiempo medido entre el pico de la onda R del electrocardiograma y el ascenso de la onda de pletismográfica de la saturometría de oxígeno percutánea (*Figura 4*). Utiliza, además, la presión arterial, medida por método no invasivo.



**FIGURA 4.**

**PWTT:** tiempo de tránsito de la onda del pulso, **ECG:** electrocardiograma.

Idealmente, debe calibrarse con una medición de volumen minuto por termodilución para obtener mayor precisión. Este requisito lo limitaría como método único no invasivo.

La medición del PWTT se realiza por intermedio de una aplicación informática incorporada a un monitor de parámetros vitales donde ingresan las señales que son controladas rutinariamente en los pacientes de cuidados intensivos. El equipo entrega el valor estimado de volumen sistólico y volumen minuto del paciente. Sus ventajas más significativas son que es un método no invasivo, continuo y que no requiere de insumos descartables adicionales.

La precisión de este método ha sido estudiada por algunos autores como puede verse resumido en la **Tabla 4**<sup>42,43,44</sup>.

De los estudios que se muestran en la tabla precedente, el porcentaje de pacientes sometidos a una cirugía cardiovascular fue 100% en el primer estudio de Ishihara et al, 67% en el trabajo de Yamada et al y 84% en la última investigación mencionada. Por tanto, los resultados de los mismos son extrapolables a los pacientes que se encuentran en el postoperatorio inmediato de una cirugía cardíaca.

**TABLA 4.**  
Precisión del tiempo de tránsito de la onda de pulso.

Estudio	Nº de mediciones/ ptes.	$\bar{x}$ Diferencia (l/min)	Precisión (l/min)	$\bar{x}$ Error (%)
Ishihara et al	587/213	0.13	1.15	SD
Yamada et al	981/36	-0.06	0.82	54
Ishihara et al	465/207	0.34	1.5	69.6

Diferencia (bias) = método en prueba - método patrón oro, Precisión: 1 desvío estándar (DE) de la diferencia, SD: sin datos, Porcentaje de error = (1.96 DE de la diferencia / volumen minuto por termodilución promedio) x 100.

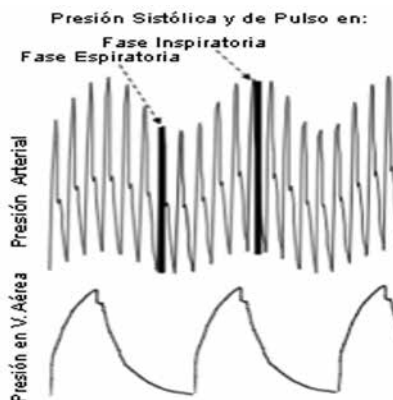
Como se puede apreciar, el porcentaje de error promedio, en los estudios en los que fue informado, supera el 50%. Dado que se considera que un método es preciso cuando tiene menos del 30% de error con relación al "patrón oro" (hasta el presente el método de termodilución) se puede pensar que esta técnica debe ser perfeccionada.

Otras limitaciones importantes del PWTT son que no puede usarse en pacientes con ritmos irregulares (arritmias), ritmo de marcapasos, contrapulsación aórtica y cuando las señales de ingreso son deficientes.

**3.3. Técnicas basadas en la variación respiratoria del volumen sistólico y variables subrogadas.**

Es conocido que la asistencia respiratoria mecánica (ARM) produce variaciones en el volumen sistólico (y en algunas variables subrogadas del volumen sistólico como la presión arterial sistólica y la presión de pulso) según se trate de la fase inspiratoria (en la cual aumenta) o espiratoria (en la cual disminuye) (**Figura 5**). Para hacer el diagnóstico de hipovolemia, algunas técnicas se basan en la amplificación que esta produce en las variaciones respiratorias de las variables mencionadas.

Se requiere como señal de ingreso la presión arterial in-



**FIGURA 5.**  
Variaciones del volumen sistólico según se trate de la fase inspiratoria (en la cual aumenta) o espiratoria (en la cual disminuye).

vasiva, la cual es procesada por una aplicación informática incorporada a un monitor de parámetros vitales. El equipo entrega el porcentaje de variación entre las fases inspiratoria y espiratoria. Se toma como valor de corte para la predicción de respuesta adecuada a la infusión de líquidos endovenosos (y por lo tanto de hipovolemia) a una variación mayor al 13% entre las fases de la variable medida (volumen sistólico, presión arterial sistólica y presión de pulso).

Sus ventajas son que es un método continuo, mini-invasivo y no requiere de insumos descartables adicionales. Ha sido estudiado en pacientes sometidos a cirugía cardíaca con y sin circulación extracorpórea<sup>35</sup>.

En la **Tabla 5** se muestran los resultados de un metaanálisis de 29 trabajos científicos que investigaron la precisión de algunas técnicas de predicción de respuesta a la administración de líquidos endovenosos. Se incluyeron 685 pacientes, pertenecientes a una población que requería ARM<sup>45</sup>. En la **Tabla 5** precedente puede observarse que la variable que presentó mayor discriminación (área bajo la curva ROC – Receiver Operating Characteristic) fue la variación de la presión de pulso; teniendo las restantes menor capacidad de predicción.

Es conveniente recordar que se considera con buena capacidad discriminativa a los modelos que alcanzan valores del área bajo la curva mayores a 0.75. Además, en caso que el modelo prediga mejor que el azar, los límites del intervalo de confianza del valor del área dejarán afuera el valor nulo (en este caso 0.5). Puede apreciarse que la PVC (y alguna otra técnica) tienen una capacidad de predicción no mayor que la que brinda arrojar una moneda al aire.

**TABLA 5.**  
Precisión de técnicas de predicción de respuesta a líquidos.

Método	Tecnología	Área ROC (IC 95%)
Variación de presión de pulso *	Onda de presión arterial	0.94 (0.93-0.95)
Variación de presión sistólica *	Onda de presión arterial	0.86 (0.82-0.90)
Variación del volumen sistólico *	Análisis del contorno del pulso	0.84 (0.88-0.78)
Área fin de diástole de VI	Ecocardiografía	0.64 (0.53-0.74)
Volumen fin de diástole	Termodilución transpulmonar	0.56 (0.37-0.67)
Presión venosa central	Catéter venoso central	0.55 (0.48-0.62)

\* Utilizando variaciones ≥ 12%

Las limitaciones más importantes de las técnicas basadas en la variación respiratoria del volumen sistólico son que pueden ser utilizadas solo en pacientes en asistencia respiratoria mecánica, que estén manejados con un volumen corriente respiratorio no muy bajo ( $^{38}\text{ml/Kg}$ ) y que no presenten arritmias. Se discute si el empleo de drogas vasoactivas o el tórax abierto pueden alterar las mediciones.

Otra cuestión relevante es que se ha encontrado una franja de incertidumbre (cuando la variación entre las fases va del 9 al 13%) que alcanzaría al 25% de los pacientes<sup>46</sup>.

### 3.4. Otros métodos no invasivos o mini-invasivos.

Existen otros métodos no invasivos o mini-invasivos para la medición del volumen sistólico o el volumen minuto. Entre ellos se puede mencionar al análisis del contorno de la onda del pulso y al Doppler esofágico. Estos son métodos continuos, mini-invasivos y requieren de insumos descartables adicionales. La reinhalación de anhídrido carbónico y la bioimpedancia transtorácica son continuos, no invasivos y los insumos que requieren son escasos. Su precisión se resume en la **Tabla 6** que refleja los resultados de un metaanálisis realizado sobre 43 estudios que involucraron a 1.182 pacientes<sup>47</sup>. El 72% de los estudios incluidos en el mencionado análisis fueron realizados con pacientes sometidos a cirugía cardiovascular, por lo cual sus resultados pueden ser extrapolados a los pacientes que cursan el postoperatorio inmediato de esta intervención.

**TABLA 6.**  
Precisión de otros métodos no invasivos o mini-invasivos.

Método	Nº de estudios/ ptes.	$\bar{X}$ Diferencia (l/min)	Precisión (l/min)	$\bar{X}$ Error (%)
Análisis contorno de pulso	21/596	-0.06	1.27	42.1
Doppler esofágico	2/57	-0.77	1.07	42.1
Reinhalación de CO <sub>2</sub>	8/167	-0.05	1.12	44.5
Bioimpedancia TT	12/362	-0.12	1.23	45

**Bioimpedancia TT:** bioimpedancia transtorácica, ptes: pacientes, Diferencia (*bias*) = método en prueba - método patrón oro, Precisión: 1 desvío estándar (DE) de la diferencia, Porcentaje de error = (1.96 DE de la diferencia / volumen minuto por termodilución promedio) x 100. Erratum por retractación en 4 artículos. Se recalculó el metaanálisis en *Anesthesiology*. 2012;116:973.

Como puede apreciarse en la tabla precedente el porcentaje de error medio en todos los casos es mayor al 30%, comparado con la termodilución. Esto puede indicar que estos métodos necesitan alcanzar un mejor desempeño o que debe ser revisado el criterio mencionado para evaluarlos.

### Agradecimientos

A Lucía y Fernando por su incondicional apoyo.

### BIBLIOGRAFÍA

- Bremer F, Schiele A, Sagkob J, et al. Perioperative monitoring of circulating and central blood volume in cardiac surgery by pulse dye densitometry. *Intensive Care Med* **2004**; 30 (11): 2053-9.

- Finfer S, Liu B, Taylor C, et al, for SAFE TRIPS Investigators. Resuscitation fluid use in critically ill adults: an international cross-sectional study in 391 intensive care units. *Crit Care* **2010**; 14 (5): R185.
- Stein A, de Souza LV, Beletini CR, et al. Fluid overload and changes in serum creatinine after cardiac surgery: predictors of mortality and longer intensive care stay. A prospective cohort study. *Crit Care* **2012**; 16 (3): R99.
- Chawla LS, Ince C, Chappell D, et al. ADQI XII Fluids Workgroup. Vascular content, tone, integrity, and haemodynamics for guiding fluid therapy: a conceptual approach. *Br J Anaesth* **2014**; 113 (5): 748-55.
- Doherty M, Buggy DJ. Intraoperative fluids: how much is too much? *Br J Anaesth* **2012**; 109 (1): 69-79.
- Bruegger D, Rehm M, Abicht J, et al. Shedding of the endothelial glycocalyx during cardiac surgery: on-pump versus off-pump coronary artery bypass graft surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* **2009**; 138 (6): 1445-7.
- Jacob M, Chappell D, Rehm M. The 'third space' fact or fiction? *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* **2009**; 23 (2): 145-57.
- Grocott MP, Mythen MG, Gan TJ. Perioperative fluid management and clinical outcomes in adults. *Anesth Analg* **2005**; 100 (4): 1093-106.
- Woodcock TE, Woodcock TM. Revised Starling equation and the glycocalyx model of transvascular fluid exchange: an improved paradigm for prescribing intravenous fluid therapy. *Br J Anaesth* **2012**; 108 (3): 384-94.
- Hahn RG. Volume kinetics for infusion fluids. *Anesthesiology* **2010**; 113 (2): 470-81.
- Finfer S, Bellomo R, Boyce N, et al, for SAFE Study Investigators. A comparison of albumin and saline for fluid resuscitation in the intensive care unit. *N Engl J Med* **2004**; 350 (22): 2247-56.
- Perner A, Haase N, Guttormsen AB, et al; 6S Trial Group. Scandinavian Critical Care Trials Group. Hydroxyethyl starch 130/0.42 versus Ringer's acetate in severe sepsis. *N Engl J Med* **2012**; 367 (2): 124-34.
- Jacob M, Chappell D, Rehm M. Clinical update: perioperative fluid management. *Lancet* **2007**; 369 (9578): 1984-6.
- Chappell D, Westphal M, Jacob M. The impact of the glycocalyx on microcirculatory oxygen distribution in critical illness. *Curr Opin Anaesthesiol* **2009**; 22 (2): 155-62.
- Tschaikowsky K, Neddermeyer U, Pscheidl E, et al. Changes in circulating blood volume after cardiac surgery measured by a novel method using hydroxyethyl starch. *Crit Care Med* **2000**; 28 (2): 336-41.
- Yamaguchi H, Yamauchi H, Hazama S, et al. Evaluation of body fluid status after cardiac surgery using bioelectrical impedance analysis. *J Cardiovasc Surg (Torino)* **2000**; 41 (4): 559-66.
- Gonzalez J, Morrissey T, Byrne T, et al. Bioelectric impedance detects fluid retention in patients undergoing cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* **1995**; 110 (1): 111-8.
- Koller ME, Bert J, Segadal L, et al. Estimation of total body fluid shifts between plasma and interstitium in man during extracorporeal circulation. *Acta Anaesthesiol Scand* **1992**; 36 (3): 255-9.
- Brudney CS, Gosling P, Manji M. Pulmonary and renal function following cardiopulmonary bypass is associated with systemic capillary leak. *J Cardiothorac Vasc Anesth* **2005**; 19 (2): 188-92.
- Cremer J, Martin M, Redl H, et al. Systemic inflammatory response syndrome after cardiac operations. *Ann Thorac Surg* **1996**; 61 (6): 1714-20.
- Manzone TA, Dam HQ, Soltis D, et al. Blood volumen analysis: A new technique and new clinical interes reinvigorate a classic study. *J Nucl Med Technol* **2007**; 35: 55-63.
- Margoulef D. Blood volume determination, a nuclear medicine test in evolution. *Clin Nucl Med* **2013**; 38 (7): 534-7.
- Jacob M, Conzen P, Finsterer U, et al. Technical and physiological background of plasma volume measurement with indocyanine green: a clarification of misunderstandings. *J Appl Physiol* (1985) **2007**; 102 (3): 1235-42.
- Auler JO Jr, Galas F, Hajjar L, et al. Online monitoring of pulse pressure variation to guide fluid therapy after cardiac surgery. *Anesth Analg* **2008**; 106 (4): 1201-6.