



## Cinética de líquidos y reanimación perioperatoria

Dr. Edgar Emmanuel Romero-Alonso,\* Dr. Ramón Tomas Martínez-Segura\*\*

\* Hospital Central Norte Petróleos Mexicanos.  
\*\* Hospital General de México «Dr. Eduardo Liceaga».

La administración de fluidos intravenosos (IV) para evitar la deshidratación, mantener un volumen circulante efectivo (VCE) y prevenir la perfusión tisular inadecuada debe ser considerada, junto con el mantenimiento de la inconsciencia, la analgesia y el bloqueo neuromuscular, un elemento fundamental de la práctica de la anestesia perioperatoria, para mantener el equilibrio del medio interno. El conocimiento de los efectos de los diferentes fluidos se ha incrementado recientemente y la elección del tipo en distintas situaciones clínicas ahora puede ser guiada de forma racional por la comprensión de las propiedades fisicoquímicas y biológicas de las soluciones disponibles. «Decidir la cantidad de líquido a administrar ha sido históricamente más controvertido que la elección del mismo»<sup>(1)</sup>. Los líquidos deben ser prescritos como medicamentos, reconociendo que cualquier fluido puede ser nocivo si se dosifica incorrectamente. Las diferencias en la eficacia entre la administración de «cristaloide frente a coloide» son modestas; sin embargo, las diferencias acumuladas en materia de seguridad parecen ser más significativas<sup>(2)</sup>.

La administración inadecuada de líquidos puede conducir a una reducción del VCE, redistribución de la sangre hacia órganos vitales (cerebro y el corazón) y lejos de órganos no vitales (intestino, piel y riñones), con la perfusión tisular inadecuada de estos últimos<sup>(1)</sup>. El médico que indica una carga de volumen en tiempo (1 L en una hora o 1 L en 12 h) debe reconocer que el contexto es crucial: gravedad de la enfermedad, comorbilidades, estado de volemia, y los cambios a este nivel durante las fases de reanimación (rescate, optimización, estabilización, restricción), tipo y volumen de líquido utilizado interactúan en formas que apenas comenzamos a entender<sup>(3)</sup>. La reposición de manera agresiva aumenta el riesgo de una administración excesiva y de sobrecarga de líquidos<sup>(4)</sup>. La administración IV de líquidos no resulta en la distribución del líquido extracelular (LEC) propuesta por el modelo original

de E. Starling basado en capilares semipermeables sujetos a gradientes de presión hidrostática y oncótica dentro del LEC<sup>(5)</sup> (describe dos fuerzas opuestas a través del endotelio que mantienen a los compartimientos en equilibrio)<sup>(6)</sup>. La revisión actual de la ecuación, considera las contribuciones de la capa endotelial glicocálix (CEG), la membrana basal endotelial y la matriz extracelular; Levick y Michel proponen que el pequeño sistema de poros de la membrana semipermeable transvascular es la CEG, que cubre las hendiduras intercelulares endoteliales y separa el plasma de una «región protegida» del espacio subglicocálix que es casi libre de proteínas. La CEG es una red de glicoproteínas y proteoglicanos unidas a la membrana en el lado luminal de las células endoteliales, asociadas con diversos glicosaminoglicanos (principalmente mucopolisacáridos) que aumentan el volumen de la capa. Es la interfaz activa entre la sangre y la pared capilar. A partir de estudios basados en dilución con verde de indocianina, se estimó el volumen de la CEG en humanos y es de aproximadamente 700 mL, con un área de superficie que se aproxima a 350 m y un espesor medio de 2  $\mu$ m<sup>(5)</sup>. Hoy día, la evidencia en humanos, revela el compromiso de la CEG en los estados inflamatorios sistémicos: diabetes, hiperglucemia, cirugía, trauma y sepsis; mientras que en voluntarios sanos tras la rápida infusión de cristaloïdes resulta una compactación de la CEG con incremento en los niveles plasmáticos de ácido hialurónico (marcadores de lesión) y por lo tanto puede ser nocivo. El glicocálix es la primera y principal matriz fibrosa de resistencia en la corriente de solutos y fluidos entre el plasma y la linfa. La membrana basal y la matriz extracelular son la segunda y tercera respectivamente<sup>(5)</sup>.

El cloruro de sodio al 0.9% considerado isotónico contiene todavía un marcado excedente de iones de cloruro y no tampon (la infusión de 2 L o más, provoca acidosis metabólica hiperclorémica). El Ringer se utiliza con la adición de un

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

tampón (lactato más común o acetato); el lactato se metaboliza en el hígado y los riñones con la ayuda de oxígeno y con la producción de bicarbonato y dióxido de carbono (por lo tanto, aumenta ligeramente el consumo de oxígeno y también puede elevar la glucosa en plasma). Durante la infusión IV de Ringer el proceso de distribución desde el plasma al espacio intersticial requiere de 25-30 min. Su vida media de distribución (VMD) es de ocho minutos aprox. La eliminación (por micción) en voluntarios es tan rápida que el líquido puede presentar una cinética monocompartimental, lo cual ha sido interpretado como que el fluido se distribuye desde el plasma hacia las áreas bien perfundidas del espacio intersticial. Los efectos de un coloide dependen de su peso molecular (PM) y otras propiedades<sup>(7)</sup>. Posterior a 90 minutos tras su administración, una proporción significativa de un coloide con un alto PM (por ejemplo, HEA) serán retenidos en la circulación<sup>(8)</sup>. Por el contrario, la eliminación del Ringer se retrasa en gran medida durante la cirugía, donde siempre exhibe una cinética bicompartimental. La infusión de 2 L en voluntarios es seguida por la eliminación de 50-80% del fluido dentro de 2 h, mientras que en pacientes anestesiados es sólo 10-20%<sup>(7)</sup>.

Se han creado modelos farmacocinéticos para el análisis y la simulación de la distribución y eliminación de fluidos IV basados en la dilución de hemoglobina (Hb). La distribución de líquidos entre un compartimiento central ( $V_c$ ) y uno periférico ( $V_t$ ), es proporcional a la diferencia de dilución entre ellos multiplicado por el aclaramiento intercompartimental ( $Cl_d$ ). La eliminación es proporcional a la dilución del  $V_c$ , multiplicado por el aclaramiento de la eliminación ( $C_e$ ). La acumulación de líquido en el cuerpo está dada por la diferencia entre  $C_e$  y el aclaramiento renal. Un análisis cinético de volumen completo ofrece cinco parámetros; los tamaños de  $V_c$ ,  $V_t$  y tres espacios ( $Cl_d$ ,  $C_e$  y aclaramiento renal). Existen diferencias entre la farmacocinética de drogas y de líquidos IV, una de las cuales es que las drogas no son administradas para ampliar su VD, mientras que los líquidos infundidos ejercen su efecto terapéutico más importante por hacer precisamente eso<sup>(7)</sup>.

Se afirma que sólo el 20-25% de los fluidos cristaloides expanden el volumen plasmático (VP), pero estas cifras son válidas sólo de 25-30 minutos postinfusión. Los coloides difieren de los cristaloides en que carecen de una marcada fase de distribución, su cinética entonces llega a ser monocompartimental, con un tamaño similar al VP, a partir del cual se produce la eliminación de acuerdo con una función monoexponencial<sup>(7)</sup>. La práctica casi universal de la restricción preoperatoria de líquidos por vía oral para prevenir la aspiración de contenido gástrico, aunque no basada en la evidencia, asegura que los pacientes reciben rutinariamente un anestésico con un déficit de líquido<sup>(1)</sup>. Los hallazgos más importantes durante la anestesia y cirugía son la disminución de la presión arterial (TA) que promueve cierta acumulación

de fluido adicional en el VP y la reducción del aclaramiento renal; los cambios hormonales, tales como la liberación de aldosterona y la vasodilatación causada por los fármacos anestésicos, son probablemente responsables de gran parte de esta reducción. Naturalmente, el retraso en la eliminación favorece causar edema por sobrehidratación en un paciente grave que en el voluntario sano. Se emplean cristaloides para compensar los cambios en la TA y el tono simpático que resultan de la hipovolemia. Por el contrario, no logran revertir del todo la hipotensión inducida por fármacos. Si un bolo de cristaloides no tiene ningún efecto en la reversión de la hipotensión durante la cirugía, el anestesiólogo debe cambiar la estrategia y disminuir los anestésicos o tratar con un fármaco adrenérgico, en lugar de proporcionar varios litros de cristaloide. Hasta hace poco la administración perioperatoria de fluidos, fue «guiada por objetivos» (producción de orina, TA y otros), sin embargo, tales variables no son adecuadas para la detección de hipovolemia subclínica. Esto ha llevado a la aparición de un enfoque basado en el volumen sistólico (VS) y el GC, «guiado por flujo» diseñado para superar las deficiencias y mejorar los resultados; dicho enfoque se asocia con reducciones en la mortalidad, las complicaciones postoperatorias y duración de la estancia<sup>(8)</sup>. La ecocardiografía transesofágica, proporciona el VS, la precarga y el diámetro de la vena cava superior (VCS) e inferior (VCI). Se ha medido en pacientes sépticos bajo ventilación mecánica (VM) las variaciones respiratorias del diámetro de la VCI para predecir la respuesta a los líquidos. A mayor distensibilidad de la VCI en relación con la VM, mayor es el aumento del índice cardíaco tras la expansión de volumen<sup>(9)</sup>. Si medimos el índice de colapsabilidad a nivel de la VCS (relación entre la variación del diámetro teleinspiratorio y teleespiratorio), variaciones superiores al 36% pueden predecir un aumento en el índice cardíaco tras el aporte de volumen con una especificidad del 100% y una sensibilidad del 90%<sup>(10)</sup>. El eco-Doppler esofágico, permite una monitorización no invasiva del GC mediante la medición de la velocidad del flujo sanguíneo en la aorta descendente, a partir de una sonda de ultrasonido colocada en el esófago. Proporciona parámetros hemodinámicos acerca de la contractilidad, precarga y estado del tono vasomotor. Algunos de ellos, obtenidos por medición directa, otros derivados de la morfología de la onda de velocidad del flujo aórtico o calculados a partir de la información obtenida manualmente.

La administración de fluidos en cantidad suficiente y oportuna durante el perioperatorio es más importante que el volumen total de líquido<sup>(7)</sup>. Un balance positivo de fluidos se ha asociado con un aumento de la morbilidad<sup>(4)</sup>. Por esta razón, es útil saber si el paciente es «respondedor a líquidos» definiéndose como los cambios en el GC o el VS de más de 10-15% lo que corresponde a una respuesta positiva a líquidos (está reportado que sólo el 50% de los pacientes críticamente enfermos responden a la exposición a líquidos)<sup>(6)</sup>. El enfoque

tradicional de «libro de recetas» para la administración de líquidos se sustenta en el uso de fórmulas basadas en una tasa predeterminada continua de infusión de líquidos con la sustitución adicional de las pérdidas observadas. Éste no tiene en cuenta el estado de hidratación preoperatoria, la exactitud en las pérdidas hemáticas, o variaciones en la función miocárdica perioperatoria y el tono vascular<sup>(1)</sup>. La cinética de volumen se puede utilizar para simular la dilución plasmática, la expansión de volumen y la distribución del líquido resultante de la infusión de cualquier líquido. Sin embargo, no se utiliza clínicamente aún ya que la expansión de volumen ideal durante la cirugía no se conoce y para el análisis cinético del volumen se requiere una serie de 25-40 mediciones muy precisas de

Hb (los dispositivos para el monitoreo no invasivo de Hb aún no son lo suficientemente precisos)<sup>(7)</sup>.

En conclusión el objetivo de la terapia IV con líquidos deberá ser la microcirculación, se requiere «revaluar los conceptos básicos»; la ecuación revisada de E. Starling y el modelo de glicocálix son una mejora con respecto al paradigma de dicha ecuación. Las necesidades de líquidos intraoperatorios son muy variables en los distintos escenarios clínicos, de ahí la necesidad de seguimiento y evaluación individual. Para prescribir racionalmente la reposición de líquidos, es importante identificar qué compartimento está agotado: pérdidas específicas deben ser reemplazados con el fluido apropiado, evitando así los efectos secundarios.

## REFERENCIAS

1. Grocott M, Mythen M, Gan T. Perioperative fluid management and clinical outcomes in adults. *Anesth Analg*. 2005;100:1093-106.
2. Raghunathan K, Shaw A, Bagshaw S. Fluids are drugs: type, dose and toxicity. *Curr Opin Crit Care*. 2013;19:290-298.
3. Rewa O, Bagshaw S. Principles of fluid management. *Crit Care Clin*. 2015;31:785-801.
4. Ogbu O, Murphy D, Martin G. How to avoid fluid overload. *Curr Opin Crit Care*. 2015;21:315-321.
5. 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;108:384-394.
6. Jacob M, Chappell D. Reappraising starling: the physiology of the microcirculation. *Curr Opin Crit Care*. 2013;19:282-289.
7. Han RG. Clinical fluid therapy in the peri-operative setting. Cambridge: Cambridge University Press; 2011.
8. Hamilton M. Perioperative fluid management: progress despite lingering controversies. *Cleve Clin J Med*. 2009;76:28-31.
9. Bodson L, Vieillard-Baron A. Respiratory variation in inferior vena cava diameter: surrogate of central venous pressure or parameter of fluid responsiveness? Let the physiology reply. *Critical Care*. 2012;16:181-184.
10. Vieillard-Baron A, Chergui K, Rabiller A, Peyrouset O, Page B, Beuchet A, et al. Superior vena cava collapsibility as a gauge of volume status in ventilated septic patients. *Intensive Care Med*. 2004;30:1734-1739.