

Técnicas de depuración extrarrenal continua en pediatría

Sarah Nicole Fernández Lafever, MD, PhD^{1,2,3}; María José Santiago Lozano, MD, PhD^{1,2,3,4}; Jesús López-Herce Cid, MD, PhD^{1,2,3,4}.

1. Servicio de Cuidados Intensivos Pediátricos del Hospital General Universitario Gregorio Marañón, Madrid, España.

2. Instituto de Investigación Sanitaria del Hospital Gregorio Marañón, Madrid, España.

3. Primary Care Interventions to Prevent Maternal and Child Chronic Diseases of Perinatal and Development Origin Network (RICORS) RD21/0012/0011, Instituto de Salud Carlos III, Madrid, Spain.

4. Departamento de Salud Pública y Materno Infantil. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid, España.

RESUMEN

Las técnicas de depuración extrarrenal continuas (TDEC) son las técnicas de depuración más indicadas en el niño en estado crítico. En la mayoría de los casos, la indicación de la TDEC es prevenir o tratar la sobrecarga hídrica. El éxito de las TDEC depende de una adecuada elección de la técnica, del momento de inicio, de la selección del catéter, acceso vascular, tipo de filtro, de los controles a su inicio y durante el mantenimiento, tanto del niño como de la máquina, y fundamentalmente del entrenamiento del personal médico y de enfermería. Es importante realizar un seguimiento multidisciplinar a largo plazo de los niños que requieren TDEC, ya que son susceptibles de desarrollar complicaciones que pueden no estar presentes en el momento del alta.

Palabras clave:

Daño renal agudo, técnicas de depuración extrarrenal, técnicas de depuración extrarrenal continua, diálisis, hemofiltración, citrato.

Correspondencia:

Email: sarahlafever@gmail.com

Recibido: 13/06/2023. Aceptado: 20/07/2023

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de depuración extrarrenal continua (TDEC) se introdujeron hace más de 40 años como opción de soporte renal para pacientes críticamente enfermos con alguna contraindicación para la realización de hemodiálisis intermitente y diálisis peritoneal¹. Hoy en día, las TDEC son la técnica de elección en pacientes críticos, ya que se toleran mejor en los pacientes hemodinámicamente inestables, y permite titular de manera gradual y continua los parámetros y objetivos terapéuticos, permitiendo adaptarse en cada momento a las necesidades cambiantes del paciente².

A pesar de que se trata de la terapia de soporte renal más comúnmente utilizada en las unidades de cuidados intensivos en la actualidad, existe una enorme variabilidad en el manejo de la TDEC, una falta de estandarización en la práctica clínica y una creciente necesidad de capacitación en el uso de esta terapia de los facultativos que manejan a este tipo de pacientes. Es fundamental el uso de protocolos clínicos bien establecidos, y una adecuada formación por parte de todo el equipo implicado en el manejo de estos pacientes, con el objetivo de garantizar la seguridad y la eficacia del tratamiento. Esta última depende en gran manera del tiempo real de funcionamiento de la técnica. La causa más frecuente de la interrupción del tratamiento es la coagulación del filtro, la cual conlleva una considerable pérdida de sangre (con el consecuente aumento de la necesidad de transfusiones), menor eficacia de tratamiento (al disminuir el número de horas que la técnica está activa) y un mayor coste sanitario. Resulta esencial una correcta prescripción de los parámetros de TDEC para asegurar un adecuado funcionamiento de la técnica.

Y con el fin de garantizar una acertada prescripción de las TDEC en pacientes pediátricos, hay que tener en cuenta algunas diferencias importantes con respecto a los pacientes adultos.

EPIDEMIOLOGÍA

Aproximadamente el 1,5 % de los pacientes que ingresan en una unidad de cuidados intensivos pediátricos (UCIP) requieren una TDEC. La indicación más frecuente ocurre en el contexto de enfermedad sistémica grave y *shock* para el manejo de sobrecarga hídrica, aislada (24 %) o asociada a cierto grado de daño renal agudo (DRA) (44 %)³. Otras indicaciones incluyen el DRA con uremia, errores innatos del metabolismo, alteraciones electrolíticas, síndrome de lisis tumoral, etc. La tabla I resume las principales indicaciones de TDEC en niños.

La mortalidad de los pacientes que requieren TDEC oscila entre el 30-60 %, y es mayor en los pacientes más pequeños, aquellos con peor situación clínica basal, los pacientes con cardiopatías congénitas, sepsis y los que requieren TDEC durante más de 28 días⁴⁻⁶. Esta alta tasa de mortalidad está relacionada fundamentalmente con la gravedad de la enfermedad que condiciona la necesidad de TDEC más que con la técnica.

ASPECTOS TÉCNICOS

Máquinas de TDEC

La mayoría de las máquinas de TDEC que existen están diseñadas para adultos, y aunque se pueden utilizar en niños, no están oficialmente aprobadas para neonatos y lactantes pequeños. Para su utilización en niños, deben permitir programar bajos volúmenes de flujo de sangre y de reposición, así como disponer de una medición fiable con volúmenes bajos.

Filtros

Los pacientes pediátricos que requieren TDEC tienen una edad y un peso muy variables, desde neonatos de 2 kg hasta adolescentes de más de 100 kg. Por lo tanto, es necesario disponer de filtros con superficies diferentes que permitan un filtrado adecuado sin producir una importante alteración hemodinámica. La proporción entre el volumen de purgado del filtro y la volemia del paciente (cociente volumen de purgado del filtro/volemia del paciente, o superficie de filtrado del filtro / superficie corporal) no debe superar el 5-10 %^{2,3,7}. La tabla II resume los filtros más utilizados para TDEC en niños en nuestro país.

Catéteres

La segunda implicación práctica en relación con la variabilidad del tamaño de los niños es el calibre del catéter. Los catéteres para TDEC tienen un diámetro mayor que los catéteres venosos centrales para conseguir un mayor flujo sanguíneo. Idealmente, cuanto mayor sea el calibre del catéter, mayor flujo proporcionará y mejor funcionará la técnica. Sin embargo, el calibre del catéter está limitado por el tamaño del vaso del niño. La mejor práctica para elegir el tamaño de catéter es mediante la ecografía, que permite elegir el tamaño de catéter en función del calibre del vaso y reducir el riesgo de complicaciones relacionadas con la canalización. Se recomienda que el catéter de diálisis no ocupe más del 33-45 % de la luz del vaso para evitar malfuncionamiento o trombosis⁸⁻¹⁰. La tabla III resume el tamaño de catéter recomendado según el peso del paciente.

Tabla I. Indicaciones de las TDEC en el niño en estado crítico

• Insuficiencia renal aguda.
• Oliguria o hipovolemia.
• Alteraciones electrolíticas graves: hiperkalemia, hipocalcemia, hipercalcemia, hipernatremia, hiponatremia, hipermagnesemia, descompensación de enfermedades metabólicas.
• Acidosis metabólica.
• Intoxicaciones (ácido acetilsalicílico, litio, alcohol, aminoglucósidos, teofilina, fenobarbital).
• Shock séptico y fallo multiorgánico.
• Insuficiencia cardíaca refractaria a tratamiento médico.
• Síndrome de lisis tumoral y rabdomiólisis.
• Fallo hepático agudo.
• Cirugía cardíaca con circulación extracorpórea (a la salida de la bomba).

Tabla II. Filtros utilizados en las TDEC en niños

PESO	FILTRO	SUPERFICIE	VOLUMEN	VOLUMEN TOTAL
<12 kg	HF20	0,2 m ²	15 ml	60 ml
>12 kg	M60	0,6 m ²	50 ml	93 ml
>40-50 kg	M100	0,9 m ²	67 ml	152 ml
<25 kg	TPE 1000	0,15 m ²	23 ml	71 ml
>25 kg	TPE 2000	0,35 m ²	41 ml	125 ml

Tabla III. Catéteres utilizados para las TDEC en niños

PESO	CATÉTER
<5 kg	Dos catéteres una luz de 4 o 5FR o 18G en vasos diferentes o uno de 5FR doble luz (Baxter®).
5-15 kg	Un catéter de doble luz de 6,5-7FR
>15 kg	Un catéter de doble luz de 8-11FR
Adolescentes	Un catéter de doble luz de 11FR

Las guías KDIGO recomiendan la vena yugular derecha como el vaso de primera elección, ya que suele tener un calibre mayor que el resto de los vasos del cuerpo. El orden de canalización recomendado es vena yugular derecha, venas femorales, vena yugular izquierda y venas subclavias¹¹. No obstante, hay que tener en cuenta otros factores, como la situación clínica del paciente (coagulopatía, estabilidad hemodinámica, insuficiencia respiratoria), hipertensión intraabdominal (contraindicación relativa de catéteres femorales), eventual necesidad de oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO) (contraindicación relativa de vena yugular derecha) y el estado de los vasos (presencia o antecedente de trombosis, presencia de otros catéteres ya canalizados), etc.

Debido a la limitación del tamaño de los vasos, la malfunción del catéter es relativamente frecuente en los pacientes pediátricos, por lo que es necesario en ocasiones invertir las luces del catéter para evitar el efecto del colapso de la pared del vaso con la presión negativa de la extracción de sangre del paciente. La inversión de las luces del catéter (se extrae la sangre de la luz de retorno y se devuelve a través de la luz de extracción) permite mejorar la funcionalidad del catéter sin que suponga un impacto significativo en la eficacia de la técnica, ya que el componente de recirculación es clínicamente poco relevante¹².

Líquidos

Para evitar errores, es importante utilizar soluciones comercializadas específicas de TDEC. Cuando se utiliza anticoagulación regional con citrato, se emplean soluciones de citrato y diálisis que no contienen calcio a fin de evitar neutralizar el efecto anticoagulante del citrato. La Tabla IV resume los líquidos más frecuentemente utilizados en TDEC en niños en nuestro país.

PROGRAMACIÓN DE LA TDEC

La programación de los parámetros de la TDEC es muy importante en todos los pacientes, y aún más en los pacientes pediátricos. En primer lugar, la modalidad de tratamiento dependerá de los objetivos de tratamiento: convección (ultrafiltración/hemofiltración), difusión (hemodiálisis), combinación de ambas (hemodiafiltración) o adsorción. La indicación más frecuente de TDEC en pacientes pediátricos es la sobrecarga hídrica (aislada o asociada a cierto grado de daño renal agudo (DRA)), por lo que probablemente solo con realizar hemofiltración se conseguiría el objetivo terapéutico en muchos pacientes. Sin embargo, la modalidad más recomendada para pacientes pediátricos es la hemodiafiltración venovenosa continua, ya que añadir diálisis parece mejorar la vida media de los filtros y permite compensar el efecto de la limitación al flujo de sangre que suele existir debido al pequeño calibre del catéter¹³. Además, cuando se utiliza citrato como método de anticoagulación, la diálisis es obligada para eliminar el citrato.

La recomendación general en cuanto a dosis de tratamiento (suma de la eliminación de líquidos del paciente, reposición y diálisis) es igual que para los pacientes adultos: 20-25 ml/kg/h, incluso en pacientes con sepsis¹⁴⁻²¹. Sin embargo, teniendo en cuenta que existen periodos de interrupción del tratamiento (coagulación de filtro, cambios de bolsas, procedimientos), las guías KDIGO recomiendan prescribir entre 25 y 30 ml/kg/h para asegurar que se alcanzan esos 20-25 ml/kg/h¹¹. Es importante tener en cuenta que cuando se utiliza citrato, que se administra como reposición prefiltro, la dosis total de tratamiento suele ser superior a esos 25 ml/kg/h. La solución de citrato más empleada en nuestro país tiene una baja

concentración de citrato (18 mmol/L de citrato) y el flujo de solución de citrato necesaria para alcanzar la dosis de citrato programada es muy elevada²². Estos flujos altos de solución de citrato en la bomba prebomba hacen que la reposición prefiltro sea muy elevada.

La reposición puede hacerse prefiltro (disminuye el riesgo de coagulación del filtro) o posfiltro (disminuye el riesgo de coagulación de la cámara atrapa-burbujas), pero no existe evidencia suficiente para recomendar una u otra, y en algunas máquinas pueden utilizarse simultáneamente ambas. Según nuestra experiencia, la cámara atrapa-burbujas del circuito se coagula con más frecuencia cuando se utiliza la reposición prefiltro. En cualquier caso, es importante tratar de mantener la fracción de filtración por debajo del 20-25 % para minimizar el riesgo de coagulación del filtro²³. La tabla V resume los parámetros de programación de la TDEC en niños.

ANTICOAGULACIÓN

Las técnicas de depuración extrarrenal son un tipo de depuración sanguínea extracorpórea. A pesar del avance tecnológico que ha permitido mejorar la biocompatibilidad de las superficies de los circuitos extracorpóreos, aún no se ha logrado alcanzar la biocompatibilidad completa. La consecuencia es la activación de la cascada de coagulación, que trae consigo la aparición de complicaciones trombohemorrágicas en el circuito y en el paciente. Este riesgo es mayor en los pacientes pediátricos, ya que, a menor edad, mayor tendencia a la hipercoagulabilidad y mayor necesidad de dosis de anticoagulantes. La coagulación del filtro supone un 65 % de las interrupciones no voluntarias de las TDEC^{22,24}. Por lo tanto, la anticoagulación es un pilar fundamental del tratamiento en las TDEC.

Las opciones de anticoagulación incluyen: a) no administrar ningún anticoagulante; b) anticoagulación regional del circuito (con citrato, que se revierte administrando calcio en el retorno al paciente, o con heparina, que se revierte en el paciente con protamina); y c) anticoagulación sistémica del circuito y el paciente (con heparina no fraccionada, heparina de bajo peso molecular, prostacilina, etc.).

El método de anticoagulación más utilizado es la heparina no fraccionada, ya que se trata de un fármaco de bajo coste, fácilmente disponible en todo tipo de entornos, y la mayoría de los facultativos están familiarizados con su uso. Su efecto se puede monitorizar fácilmente en el laboratorio (tiempo de tromboplastina parcial activado y niveles de anti-Xa) y a pie de cama, y se dispone de un antídoto (protamina) para revertir sus efectos. Se administra un bolo de 20 a 50 U/kg/iv de heparina al conectar el circuito al paciente, seguido de una perfusión a 5-20 U/kg/h que se titula en función del control de coagulación posfiltro.

Sin embargo, la anticoagulación regional con citrato (ARC) está desplazando a la heparina como método de anticoagulación de elección. Las principales ventajas del citrato con respecto a la heparina son la disminución de

Tabla IV. Composición de los líquidos utilizados en TDEC

	REGIOCIT® (18 mmol/L)	BYPHOZYL®	PHOXYLIUM®	HEMOSOL B0®
Volumen	5000 ml	5000 ml	5000 ml	5000 ml
Na mmol/L	140	140	140	140
K mmol/L	0	4	4	0
Cl mmol/L	86	122	106	109,5
Ca mmol/L	0	0	1,25	1,75
P mmol/L	0	1	1,2	0
Mg mmol/L	0	0,75	0,6	0,5
CO3H mmol/L	0	22	30	32
Lactato mg/dl	0	3	0	3
Glucosa mg/dl	0	0	0	0
Vía administración	Prebomba	Sustitución y diálisis sin calcio	Sustitución y diálisis	Sustitución y diálisis

eventos trombóticos y hemorrágicos, la disminución de la trombopenia asociada a heparina, y el aumento de la vida media de los filtros, con disminución del número de transfusiones^{22,25,26}. Por estos motivos, las guías internacionales KDIGO recomiendan utilizar ARC en todos los pacientes, salvo que exista alguna contraindicación para su uso¹¹.

Algunas máquinas de TDEC permiten programar la dosis de citrato y la compensación de calcio. Estas máquinas autorregulan automáticamente los flujos de las bombas de citrato y calcio cuando se cambia la programación del flujo de sangre, simplificando su uso. La dosis de citrato oscila entre 2 y 4 mmol/L para mantener un calcio iónico posfiltro <0,35 mmol/L. Se comienza con una concentración de citrato de 2,5 mmol/L, y se titula la dosis en función de los niveles de calcio iónico posfiltro. La dosis de reposición del calcio se regula de acuerdo con los niveles de calcio iónico en el paciente. La tabla VI resume el protocolo de dosificación, los controles y la modificación de parámetros con la anticoagulación citrato.

El riesgo de intoxicación por citrato es mayor en pacientes con insuficiencia hepática y en los más pequeños (prematuros, neonatos y lactantes pequeños) debido a la inmadurez del metabolismo hepático. Esto no supone una contraindicación absoluta (salvo en la insuficiencia hepática grave). Simplemente es preciso monitorizar más estrechamente al paciente (pH, calcio iónico, índice calcio total/calcio iónico) y ser cuidadoso en la programación para minimizar la dosis de citrato que le llega al paciente.

La ARC requiere la reposición de calcio al paciente para neutralizar el efecto del citrato. Aunque se puede conec-

tar la línea de reposición de calcio dentro del circuito de TDEC en la línea de retorno al paciente, de ese modo puede aumentar la coagulación del catéter. Por ese motivo recomendamos administrar, siempre que sea posible, el calcio por otro catéter venoso central.

CONEXIÓN DE LA TDEC

Una vez insertado el catéter, seleccionado el filtro, prescrita la modalidad y dosis de tratamiento y preparadas las soluciones, se puede iniciar la terapia. A pesar de que una de las razones por las que las TDEC son de elección en pacientes críticamente enfermos es que se tolera mejor hemodinámicamente que otras técnicas de depuración extrarrenal, el momento de la conexión e inicio de la técnica puede inestabilizar al paciente de manera significativa. La inestabilidad hemodinámica durante la conexión a las TDEC es muy frecuente, y ocurre en hasta el 35 % de los pacientes^{16,27-31}. La hipotensión durante la conexión a TDEC se ha relacionado con la situación hemodinámica en el momento de la conexión, el volumen de purgado del circuito y el flujo de sangre a través de este^{2,24,28,32}.

Los pacientes pediátricos presentan un riesgo aún mayor de desarrollar inestabilidad hemodinámica debido a una mayor discrepancia entre el volumen de purgado del circuito con respecto a su volemia, llegando a producirse hipotensión hasta en el 50 % de las conexiones^{2,32}. El riesgo es mayor cuanto menor es el paciente y en aquellos con mayor grado de inestabilidad hemodinámica. La inestabilidad hemodinámica parece relacionarse con el cambio de volemia brusco que se produce cuando, al iniciar la terapia, se extrae sangre del paciente y se devuelve el líquido utilizado para el purgado del circuito con menor presión oncótica. A este efecto se suma un cierto fracaso

Tabla V. Programación de la TDEC en niños

FLUJO DE SANGRE	FLUJO DE REPOSICIÓN	FLUJO DE DIALISIS	BALANCE NEGATIVO
Inicio: 10-20 ml/kg Máximo: 3-10 ml/kg/min Neonatos: 10-30 ml/min Lactantes <10 kg: 40-80 ml/min Niños 10-20 kg: 40-100 ml/min Niños >20 kg: 60-150 ml/min	20-40 ml/kg/h Prefiltro Posfiltro Ambas	20-40 ml/kg/h	Inicio: 0 Máximo: según balance y tolerancia clínica

Tabla VI. Ajuste de la anticoagulación con citrato

A. AJUSTE DE LA CONCENTRACIÓN DE CITRATO SEGÚN LOS NIVELES DE CALCIO IÓNICO POSFILTRADO

CALCIO IÓNICO POSFILTRADO (mmol/L)	ACTITUD	VALORAR
<0,25	Disminuir 0,3 mmol/L	Dosis mínima 1,5 mmol/L
0,25-0,35	Seguir igual	
0,35-0,45	Subir 0,3 mmol/L	
>0,45	Subir 0,5 mmol/L Valorar disminuir la compensación de calcio si el calcio iónico del paciente es >1 mmol/L	Dosis máxima lactantes 3,5 mmol/L Dosis máxima niños 4 mmol/L

B. AJUSTE DE LA PERFUSIÓN DE CALCIO INTRAVENOSO

CALCIO IÓNICO DEL PACIENTE (mmol/L)	ACTITUD (CAMBIO EN EL PORCENTAJE DE COMPENSACIÓN)	VALORAR	CONTROL
<0,8	Subir un 20 % Si calcio iónico <0,6: administrar además un bolo intravenoso lento al paciente	Posible error: comprobar la jeringa de calcio Bajar el flujo de citrato si el calcio iónico posfiltro es <0,35	En una hora
0,8-0,99	Subir un 10 %		En una hora
1-1,29	Mantener igual		Seguir pauta habitual
1,3-1,5	Bajar un 10 %	Error en la administración	Seguir pauta habitual
>1,5	Bajar un 20 %		En una hora

en la autorregulación hemodinámica a la hipovolemia, de tal forma que no se producen una vasoconstricción y una taquicardia suficientes que lleguen a compensar la hipovolemia^{2,3,33}.

Las estrategias más eficaces para disminuir la incidencia de hipotensión durante la conexión en pacientes pediátricos incluyen la optimización de la situación hemodinámica previa y la preparación del volumen para expansión en caso necesario, la utilización de filtros con volumen de purgado que no superen el 5-10 % de la volemia total del paciente^{2,3,32}, recebar el circuito con una sustancia coloide (albúmina 5 %) antes de su conexión (según nuestra experiencia, esta medida redujo la incidencia de hipotensión de un 71 % a un 44 %)^{2,3}. El riesgo de utilizar sangre para el recebado del circuito, en lugar de albúmina, es que en general no se dispone de sangre completa, sino de concentrado de hematíes, por lo que el riesgo de coagulación del filtro al inicio de la técnica es mayor y, debido al pH ácido de los concentrados de hematíes, aumenta el riesgo de aparición de hipotensión por liberación de bradicinina al entrar en contacto con la superficie del filtro (síndrome de liberación de bradicinina)³⁴. Otra medida importante es iniciar la técnica con un flujo de sangre lento, de 10 o 20 ml/min, según el niño, con un aumento progresivo hasta alcanzar el volumen de sangre objetivo^{3,27,28}. Por último, se debe programar el balance negativo en función de la situación clínica del paciente, ya que muchos pacientes pueden no tolerar un balance negativo excesivo en las primeras horas³⁵.

MONITORIZACIÓN

Monitorización del paciente

El niño que precisa TDEC debe tener una monitorización y vigilancia continuas, no solo por el estado de gravedad clínico, sino por las alteraciones y complicaciones que puede producir la técnica.

- Monitorización hemodinámica y respiratoria.
- Temperatura.
- Balance periódico de líquidos y una vigilancia clínica cuidadosa del estado de hidratación.
- Controles periódicos del equilibrio ácido base, electrolitos (Na, K, Cl, Ca, calcio iónico, P, y magnesio), hemograma, función renal, albúmina y estudio de coagulación. La frecuencia dependerá del estado del paciente y el funcionamiento de la técnica.
- Prevención y vigilancia de la infección. El riesgo de infección en las TDEC es elevado por la necesidad de un catéter venoso central, un circuito extracorpóreo de sangre y la frecuente manipulación de vías y líquidos.

Monitorización de la TDEC

- Presiones y alarmas: los aparatos de TDEC monitorizan diversas presiones y tienen alarmas para avisar de algunas alteraciones. Las alarmas son muy importantes, pero no sustituyen a la vigilan-

cia clínica del paciente y el sistema. Las presiones de entrada y retorno informan de problemas de los accesos vasculares. Las presiones de caída del filtro, transmembrana y efluente informan de problemas con el filtro y permiten adelantarse a la coagulación del filtro.

- Coagulación del sistema: ACT (tiempo de coagulación activado) o tiempo de tromboplastina activada (TTPA) posfiltro en la anticoagulación con heparina y calcio iónico posfiltro, y en paciente, en la anticoagulación con citrato.

EFFECTOS DE LAS TÉCNICAS DE DEPURACIÓN EXTRARRENAL CONTINUA

Los principales efectos positivos de las TDEC son:

- Balance hídrico negativo controlado.
- Depuración de solutos (urea, creatinina, electrolitos, tóxicos...).
- Mejoría hemodinámica: más de la mitad de los pacientes presentan una mejoría hemodinámica que se refleja en una disminución en la necesidad de fármacos inotrópicos y vasoactivos^{38,39}.
- Posibilidad de la nutrición: al realizar un balance negativo controlado, permiten optimizar los aportes nutricionales requeridos.

NUTRICIÓN Y TDEC

La malnutrición es muy frecuente en los niños que precisan TDEC, por lo que es necesaria una valoración y seguimiento del estado nutricional. El método inicial de nutrición, en la mayoría de los casos, debe ser la vía enteral, por sonda nasogástrica o transpilórica, adaptando el aporte calórico al estado nutricional y al método de depuración, sin realizar restricción del aporte proteico.

COMPLICACIONES

Trastornos electrolíticos

La pérdida de solutos a través de la membrana del filtro es especialmente relevante en los pacientes pediátricos, ya que disponen de menos reservas metabólicas. Es frecuente que los pacientes desarrollen hipofosforemia e hipomagnesemia durante el tratamiento, por lo que es muy importante suplementar las bolsas con estos iones^{24,36}. Existen algunas soluciones comercializadas que incluyen fósforo y magnesio en su formulación, que son las de elección en pacientes pediátricos.

En niños es excepcional la hiperpotasemia grave, por lo que, salvo excepciones, las soluciones utilizadas deben contener una concentración normal de potasio. En ocasiones es preciso añadir también cloruro sódico a las soluciones debido al desarrollo de hiponatremia o hipocloremia (que es más frecuente con el uso de citrato).

La hiperglucemia de estrés es muy frecuente en adultos, y todas las soluciones comercializadas carecen de glucosa en su composición. Sin embargo, las diferencias en el metabolismo y la menor reserva metabólica del paciente pediátrico lo hacen más susceptible al desarrollo de hipoglucemia, especialmente los pacientes más pequeños. Aunque las guías internacionales de TDEC no realizan ninguna recomendación específica sobre la necesidad de añadir glucosa a los líquidos de diálisis o sustitución^{11,37}, recomendamos agregar una concentración normal de glucosa (125 mg/dl) a los líquidos de diálisis y sustitución para evitar la pérdida excesiva de glucosa y minimizar el riesgo de hipoglucemia.

Hipotermia

La circulación de la sangre a través de un circuito extracorpóreo produce pérdida de calor. Esta pérdida de calor es generalmente bien tolerada en los adultos, pues produce un descenso de la frecuencia cardíaca, con el consiguiente aumento del llenado ventricular y de las resistencias vasculares periféricas.

Los niños tienen una capacidad de termorregulación muy limitada, por lo que son susceptibles de desarrollar hipotermia rápidamente. Por lo tanto, es muy importante realizar calentamiento de la sangre que entra en el circuito, generalmente en la línea de retorno, y regular la temperatura en función del objetivo terapéutico deseado. Además, los lactantes suelen precisar calentamiento externo mediante cunas térmicas, calentadores o mantas.

Infecciones

El riesgo de infección en las TDEC es elevado por la necesidad de un catéter venoso central, un circuito extracorpóreo de sangre y la frecuente manipulación de vías y líquidos. No es necesario realizar profilaxis antibiótica al iniciar la TDEC, pero sí extremar las medidas de asepsia en la manipulación de las vías y el circuito. Hay que tener en cuenta que la infección en pacientes con TDEC no suele manifestarse con fiebre debido a la pérdida de calor por el circuito, por lo que es preciso llevar a cabo una vigilancia continua y controles periódicos de otros signos de infección (elevación de reactantes de fase aguda, etc.) y realizar estudios microbiológicos (hemocultivo, urocultivo) de manera periódica, para detectar y tratar precozmente la infección. Por otra parte, si se inicia tratamiento antibiótico, hay que ajustar la dosis y/o intervalos a la depuración por la TDEC³⁸.

Oligoanuria

La mayoría de los pacientes pediátricos no presentan oliguria en el momento de iniciar la TDEC, ya que la principal indicación es la sobrecarga hídrica^{3,4,39}. Sin embargo, la diuresis suele desaparecer en las primeras horas del inicio de la técnica. Según nuestra experiencia, solamente el 22 % de los pacientes estaban oligúricos al inicio, y la diuresis disminuyó en todos los pacientes en las primeras 6 horas tras el inicio de la técnica. Este descenso de la diuresis no estaba relacionado con el balance hídrico, la indicación, la patología, la gravedad clínica, la edad ni

los parámetros de la TDEC³. Este descenso de diuresis se observa también en los estudios experimentales y no se correlaciona con el flujo sanguíneo en la arteria renal³³, sino probablemente por una disminución de la presión de perfusión glomerular⁴⁰.

RETIRADA DE LA TDEC

El momento idóneo para retirar las TDEC, una vez estabilizado al paciente y controlada la situación que condicionó la necesidad de depuración, es muy complicado de definir. En adultos se ha descrito como factor predictor de éxito la diuresis durante las 24 horas previas a la retirada de la TDEC sin administración de diuréticos, la concentración de creatinina en sangre y la duración de las TDEC (menor probabilidad de éxito a mayor tiempo de TDEC)⁴¹⁻⁴⁴.

En niños existen pocos estudios que hayan analizado este problema. Una diuresis mayor de 0,5 ml/kg/h, independientemente del uso de diuréticos, durante las 6 horas previas a la retirada de la técnica puede ser un indicador de éxito⁴⁵. Pero la mayoría de los pacientes pierden la diuresis durante la TDEC y no la recuperan durante el tratamiento. Por tanto, la decisión debe ser individualizada y han de tenerse en cuenta múltiples parámetros (clínicos y de laboratorio, incluyendo biomarcadores de daño y recuperación renal). En la práctica, cuando el paciente esté estable clínica y analíticamente, se puede aprovechar la necesidad de cambio del filtro para dejarlo unas horas sin este y valorar la respuesta de la diuresis a una dosis de furosemida. Si el paciente aumenta su diuresis, puede plantearse el inicio de furosemida en perfusión continua.

En los pacientes en los que no se consiga una retirada de la TDEC, si el paciente está estable, se puede valorar una técnica intermitente (TDEC nocturna, por ejemplo) o el paso a una técnica de depuración extrarrenal crónica.

EVOLUCIÓN A LARGO PLAZO

Entre un 10-30 % de los adultos en estado crítico que sufren una insuficiencia renal aguda y requieren TDEC necesitan técnicas de diálisis al alta del hospital. Estos pacientes tienen un mayor riesgo de muerte, nuevos ingresos hospitalarios y evolución a insuficiencia renal crónica con peor calidad de vida.

Por el contrario, la mayoría de los niños que requieren TDEC recuperan la diuresis durante el ingreso en la UCIP, y pocos quedan dependientes de TDEC, probablemente porque la mayoría tenían una función renal normal previa, y también debido a una mayor capacidad de recuperación de la función de un riñón joven. Sin embargo, algunos niños sufren un deterioro progresivo de la función renal, y por ello es necesario realizar un seguimiento específico⁴⁶. No existen estudios que hayan demostrado si existen algunos biomarcadores que puedan predecir la evolución de la función renal a largo plazo de los niños que requieren TDEC.

CONCLUSIONES

Las TDEC son las técnicas de depuración más indicadas en el niño en estado crítico. La decisión del inicio de la TDEC es esencial para el pronóstico. En cada paciente hay que valorar tanto los riesgos de la técnica como los de un retraso en el inicio del tratamiento.

El éxito de las TDEC depende de una adecuada elección de la técnica, del momento de inicio, de la selección del catéter, acceso vascular, tipo de filtro, de los controles a su inicio y durante el mantenimiento, tanto del niño como de la máquina, y fundamentalmente del entrenamiento del personal médico y de enfermería.

Conflicto de intereses

Ninguno.

Financiación

El presente estudio no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

Bibliografía

- Ronco C. Continuous Renal Replacement Therapy: Forty-year Anniversary. *Int J Artif Organs*. 2017 Jun;40(6):257-264. doi: 10.5301/ijao.5000610. PMID: 28574107.
- Fernández S, Santiago MJ, González R, Urbano J, López J, Solana MJ, Sánchez A, Del Castillo J, López-Herce J. Hemodynamic impact of the connection to continuous renal replacement therapy in critically ill children. *Pediatr Nephrol*. 2019 Jan;34(1):163-168. doi: 10.1007/s00467-018-4047-7. PMID: 30112654.
- Fernández Lafever SN, López J, González R, Solana MJ, Urbano J, López-Herce J, Butragueño L, Santiago MJ. Hemodynamic disturbances and oliguria during continuous kidney replacement therapy in critically ill children. *Pediatr Nephrol*. 2021 Jul;36(7):1889-1899. doi: 10.1007/s00467-020-04804-z. PMID: 33433709.
- Kaddourah A, Basu RK, Bagshaw SM, Goldstein SL; AWARE Investigators. Epidemiology of Acute Kidney Injury in Critically Ill Children and Young Adults. *N Engl J Med*. 2017 Jan 5;376(1):11-20. doi: 10.1056/NEJMoa1611391. PMID: 27959707.
- Santiago MJ, López-Herce J, Urbano J, Solana MJ, del Castillo J, Ballesteros Y, Botrán M, Bellón JM. Clinical course and mortality risk factors in critically ill children requiring continuous renal replacement therapy. *Intensive Care Med*. 2010 May;36(5):843-9. doi: 10.1007/s00134-010-1858-9. PMID: 20237755.
- Santiago MJ, López-Herce J, Urbano J, Solana MJ, del Castillo J, Sánchez A, Bellón JM. Continuous renal replacement therapy in children after cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013 Aug;146(2):448-54. doi: 10.1016/j.jtcvs.2013.02.042. PMID: 23870324.
- Liu ID, Ng KH, Lau PY, Yeo WS, Koh PL, Yap HK. Use of HF20 membrane in critically ill unstable low-body-weight infants on inotropic support. *Pediatr Nephrol*. 2013 May;28(5):819-22. doi: 10.1007/s00467-012-2394-3. PMID: 23306707.
- Lamperti M, Bodenham AR, Pittiruti M, Blaivas M, Augoustides JG, Elbarbary M, *et al*. International evidence-based recommendations on ultrasound-guided vascular access. *Intensive Care Med*. 2012 Jul;38(7):1105-17. doi: 10.1007/s00134-012-2597-x. PMID: 22614241.
- Spencer TR, Mahoney KJ. Reducing catheter-related thrombosis using a risk reduction tool centered on catheter to vessel ratio. *J Thromb Thrombolysis*. 2017 Nov;44(4):427-434. doi: 10.1007/s11239-017-1569-y. PMID: 29022210.
- Sharp R, Carr P, Childs J, Scullion A, Young M, Flynn T, *et al*. Catheter to vein ratio and risk of peripherally inserted central catheter (PICC)-associated thrombosis according to diagnostic group: a retrospective cohort study. *BMJ Open*. 2021 Jul 5;11(7):e045895. doi: 10.1136/bmjopen-2020-045895. PMID: 34226216.
- Khwaja A. KDIGO clinical practice guidelines for acute kidney injury. *Nephron Clin Pract*. 2012;120(4):c179-184. doi: 10.1159/000339789. PMID: 22890468.
- Boer W, Van Tornout M, Vander Laenen M, Engelen K, Meex I, Jorens P. Catheter Port Reversal in Citrate Continuous Venovenous Hemofiltration. *Kidney Int Rep*. 2021 Aug 13;6(11):2775-2781. doi: 10.1016/j.ekir.2021.08.006. PMID: 34805629.
- Tsujimoto Y, Miki S, Shimada H, Tsujimoto H, Yasuda H, Kataoka Y, Fujii T. Non-pharmacological interventions for preventing clotting of extracorporeal circuits during continuous renal replacement therapy. *Cochrane Database Syst Rev*. 2021 Sep 14;9(9):CD013330. doi: 10.1002/14651858.CD013330.pub2. PMID: 34519356.
- Bouman CS, Oudemans-Van Straaten HM, Tijssen JG, Zandstra DF, Kesecioglu J. Effects of early high-volume continuous venovenous hemofiltration on survival and recovery of renal function in intensive care patients with acute renal failure: a prospective, randomized trial. *Crit Care Med*. 2002 Oct;30(10):2205-11. doi: 10.1097/00003246-200210000-00005. PMID: 12394945.
- Tolwani AJ, Campbell RC, Stofan BS, Lai KR, Oster RA, Wille KM. Standard versus high-dose CVVHDF for ICU-related acute renal failure. *J Am Soc Nephrol*. 2008 Jun;19(6):1233-8. doi: 10.1681/ASN.2007111173. PMID: 18337480.
- VA/NIH Acute Renal Failure Trial Network, Palevsky PM, Zhang JH, O'Connor TZ, Chertow GM, Crowley ST, *et al*. Intensity of renal support in critically ill patients with acute kidney injury. *N Engl J Med*. 2008 Jul 3;359(1):7-20. doi: 10.1056/NEJMoa0802639. Erratum in: *N Engl J Med*. 2009 Dec 10;361(24):2391. PMID: 18492867.
- RENAL Replacement Therapy Study Investigators, Bellomo R, Cass A, Cole L, Finfer S, Gallagher M, *et al*. Intensity of continuous renal-replacement therapy in critically ill patients. *N Engl J Med*. 2009 Oct 22;361(17):1627-38. doi: 10.1056/NEJMoa0902413. PMID: 19846848.
- Joannes-Boyau O, Honoré PM, Perez P, Bagshaw SM, Grand H, Canivet JL, *et al*. High-volume versus standard-volume haemofiltration for septic shock patients with acute kidney injury (IVOIRE study): a multicentre randomized controlled trial. *Intensive Care Med*. 2013 Sep 1;39(9):1535-46. doi: 10.1007/s00134-013-2967-z. PMID: 23740278.
- Van Wert R, Friedrich JO, Scales DC, Wald R, Adhikari NKJ, University of Toronto Acute Kidney Injury Research Group. High-dose renal replacement therapy for acute kidney injury: Systematic review and meta-analysis. *Crit Care Med*. 2010 May;38(5):1360-9. doi: 10.1097/CCM.0b013e3181d9d912. PMID: 20308884.
- Heintz BH, Matzke GR, Dager WE. Antimicrobial dosing concepts and recommendations for critically ill adult patients receiving continuous renal replacement therapy or intermittent hemodialysis. *Pharmacotherapy*. 2009 May;29(5):562-77. doi: 10.1592/phco.29.5.562. PMID: 19397464.
- Cano NJ, Aparicio M, Brunori G, Carrero JJ, Cianciaruso B, Fiaccadori E, Lindholm B, Teplan V, Fouque D, Guarnieri G; ESPEN. ESPEN Guidelines on Parenteral Nutrition: adult renal failure. *Clin Nutr*. 2009 Aug;28(4):401-14. doi: 10.1016/j.clnu.2009.05.016. PMID: 19535181.
- Fernández SN, Santiago MJ, López-Herce J, García M, Del

- Castillo J, Alcaraz AJ, Bellón JM. Citrate anticoagulation for CRRT in children: comparison with heparin. *Biomed Res Int*. 2014;2014:786301. doi: 10.1155/2014/786301. PMID: 25157369.
23. Joannidis M, Oudemans-van Straaten HM. Clinical review: Patency of the circuit in continuous renal replacement therapy. *Crit Care*. 2007;11(4):218. doi: 10.1186/cc5937. PMID: 17634148.
 24. Santiago MJ, López-Herce J, Urbano J, Solana MJ, del Castillo J, Ballesterio Y, *et al*. Complications of continuous renal replacement therapy in critically ill children: a prospective observational evaluation study. *Critical Care*. 2009;13(6):1-11. doi: 10.1186/cc8172. PMID: 19925648.
 25. Bagshaw SM, Laupland KB, Boiteau PJE, Godinez-Luna T. Is regional citrate superior to systemic heparin anticoagulation for continuous renal replacement therapy? A prospective observational study in an adult regional critical care system. *J Crit Care*. 2005 Jun;20(2):155-61. doi: 10.1016/j.jcrc.2005.01.001. PMID: 16139156.
 26. Liu C, Mao Z, Kang H, Hu J, Zhou F. Regional citrate versus heparin anticoagulation for continuous renal replacement therapy in critically ill patients: a meta-analysis with trial sequential analysis of randomized controlled trials. *Crit Care*. 2016 May 13;20(1):144. doi: 10.1186/s13054-016-1299-0. PMID: 27176622.
 27. Kim IB, Fealy N, Baldwin I, Bellomo R. Circuit start during continuous renal replacement therapy in vasopressor-dependent patients: the impact of a slow blood flow protocol. *Blood Purif*. 2011;32(1):1-6. doi: 10.1159/000323035. PMID: 21242685.
 28. Eastwood GM, Peck L, Young H, Bailey M, Reade MC, Baldwin I, Bellomo R. Haemodynamic Impact of a slower pump speed at start of continuous renal replacement therapy in critically ill adults with acute kidney injury: a prospective before-and-after study. *Blood Purif*. 2012;33(1-3):52-8. doi: 10.1159/000333838. PMID: 22179304.
 29. Uchino S, Bellomo R, Morimatsu H, Morgera S, Schetz M, Tan I, Bouman C, Macedo E, Gibney N, Tolwani A, Oudemans-van Straaten H, Ronco C, Kellum JA. Continuous renal replacement therapy: a worldwide practice survey. The beginning and ending supportive therapy for the kidney (B.E.S.T. kidney) investigators. *Intensive Care Med*. 2007 Sep;33(9):1563-70. doi: 10.1007/s00134-007-0754-4. PMID: 17594074.
 30. Finkel KW, Podoll AS. Complications of continuous renal replacement therapy. *Semin Dial*. 2009 Mar-Apr;22(2):155-9. doi: 10.1111/j.1525-139X.2008.00550.x. PMID: 19426420.
 31. Vinsonneau C, Camus C, Combes A, Costa de Beauregard MA, Klouche K, Boulain T, Pallot JL, Chiche JD, Taupin P, Landais P, Dhainaut JF; Hemodiafe Study Group. Continuous venovenous haemodiafiltration versus intermittent haemodialysis for acute renal failure in patients with multiple-organ dysfunction syndrome: a multicentre randomised trial. *Lancet*. 2006 Jul 29;368(9533):379-85. doi: 10.1016/S0140-6736(06)69111-3. PMID: 16876666.
 32. Askenazi D, Ingram D, White S, Cramer M, Borasino S, Coghill C, Dill L, Tenney F, Feig D, Fathallah-Shaykh S. Smaller circuits for smaller patients: improving renal support therapy with Aquadex™. *Pediatr Nephrol*. 2016 May;31(5):853-60. doi: 10.1007/s00467-015-3259-3. PMID: 26572894.
 33. Fernández SN, Santiago MJ, González R, López J, Solana MJ, Urbano J, López-Herce J. Changes in hemodynamics, renal blood flow and urine output during continuous renal replacement therapies. *Sci Rep*. 2020 Nov 27;10(1):20797. doi: 10.1038/s41598-020-77435-x. PMID: 33247145.
 34. Brophy PD, Mottes TA, Kudelka TL, McBryde KD, Gardner JJ, Maxvold NJ, Bunchman TE. AN-69 membrane reactions are pH-dependent and preventable. *Am J Kidney Dis*. 2001 Jul;38(1):173-8. doi: 10.1053/ajkd.2001.25212. PMID: 11431198.
 35. Goldstein SL. Advances in pediatric renal replacement therapy for acute kidney injury. *Semin Dial*. 2011 Mar-Apr;24(2):187-91. doi: 10.1111/j.1525-139X.2011.00834.x. PMID: 21517986.
 36. Zayyat AA, Selim K, Rashad R, Mowafy H. Prognostic value of early hemodynamic improvement in patients with acute kidney injury and hemodynamic instability treated with continuous renal replacement therapy. *The Egyptian Journal of Critical Care Medicine*. 2018 Aug 1;6(2):47-51. doi:10.1016/j.ejccm.2018.06.001.
 37. Herrera-Gutiérrez ME, Seller-Pérez G, Lebrón-Gallardo M, Muñoz-Bono J, Banderas-Bravo E, Córdón-López A. Early hemodynamic improvement is a prognostic marker in patients treated with continuous CVVHDF for acute renal failure. *ASAIO J*. 2006 Nov-Dec;52(6):670-6. doi: 10.1097/01.mat.0000242162.35929.bc. PMID: 17117057.
 38. Santiago MJ, López-Herce J, Urbano J, Bellón JM, del Castillo J, Carrillo A. Hypophosphatemia and phosphate supplementation during continuous renal replacement therapy in children. *Kidney Int*. 2009 Feb;75(3):312-6. doi: 10.1038/ki.2008.570. PMID: 19002217.
 39. Jonckheer J, Vergaelen K, Spapen H, Malbrain MLNG, De Waele E. Modification of Nutrition Therapy During Continuous Renal Replacement Therapy in Critically Ill Pediatric Patients: A Narrative Review and Recommendations. *Nutr Clin Pract*. 2019 Feb;34(1):37-47. doi: 10.1002/ncp.10231. PMID: 30570180.
 40. Butragueño-Laiseca L, Troconiz IF, Grau S, Campillo N, García X, Padilla B, Fernández SN, Santiago MJ. Finding the Dose for Cefotolozane-Tazobactam in Critically Ill Children with and without Acute Kidney Injury. *Antibiotics (Basel)*. 2020 Dec 10;9(12):887. doi: 10.3390/antibiotics9120887. PMID: 33321721.
 41. Lameire N, Van Biesen W, Vanholder R. Epidemiology of acute kidney injury in children worldwide, including developing countries. *Pediatr Nephrol*. 2017 Aug;32(8):1301-1314. doi: 10.1007/s00467-016-3433-2. PMID: 27307245.
 42. Fernández Lafever SN, Fernández Lafever SN. Repercusión de las Técnicas de Depuración Extrarrenal sobre la hemodinamia y la función renal en niños: estudio clínico y experimental [Internet]. Universidad Complutense de Madrid; 2020 [cited 2023 Jun 7]. Available from: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/50651/>
 43. Uchino S, Bellomo R, Morimatsu H, Morgera S, Schetz M, Tan I, Bouman C, Macedo E, Gibney N, Tolwani A, Straaten HO, Ronco C, Kellum JA. Discontinuation of continuous renal replacement therapy: a post hoc analysis of a prospective multicenter observational study. *Crit Care Med*. 2009 Sep;37(9):2576-82. doi: 10.1097/CCM.0b013e3181a38241. PMID: 19623048.
 44. Katayama S, Uchino S, Uji M, Ohnuma T, Namba Y, Kawarazaki H, Toki N, Takeda K, Yasuda H, Izawa J, Tokuhira N, Nagata I; Japanese Society of Education for Physicians and Trainees in Intensive Care (JSEPTIC) Clinical Trial Group. Factors predicting successful discontinuation of continuous renal replacement therapy. *Anaesth Intensive Care*. 2016 Jul;44(4):453-7. doi: 10.1177/0310057X1604400401. PMID: 27456174.
 45. Schiff H. Discontinuation of renal replacement therapy in critically ill patients with severe acute kidney injury: predictive factors of renal function recovery. *Int Urol Nephrol*. 2018 Oct;50(10):1845-1851. doi: 10.1007/s11255-018-1947-1. PMID: 30073616.
 46. Baeg SI, Jeon J, Yoo H, Na SJ, Kim K, Chung CR, Yang JH, Jeon K, Lee JE, Huh W, Suh GY, Kim YG, Kim DJ, Jang HR. A Scoring Model with Simple Clinical Parameters to Predict Successful Discontinuation of Continuous Renal Replacement Therapy. *Blood Purif*. 2021;50(6):779-789. doi: 10.1159/000512350. PMID: 33735858.
 47. Wei EY, Vuong KT, Lee E, Liu L, Inguill E, Coufal NG. Predictors of successful discontinuation of continuous kidney replacement therapy in a pediatric cohort. *Pediatr Nephrol*. 2023 Jul;38(7):2221-2231. doi: 10.1007/s00467-022-05782-0. PMID: 36315275.
 48. Askenazi DJ, Feig DI, Graham NM, Hui-Stickle S, Goldstein SL. 3-5 year longitudinal follow-up of pediatric patients after acute renal failure. *Kidney Int*. 2006 Jan;69(1):184-9. doi: 10.1038/sj.ki.5000032. PMID: 16374442.