

ABC de la diálisis peritoneal en pediatría

ABC of the peritoneal dialysis in pediatrics

Macarena Gajardo^a, Francisco Cano^b

^aBecada. Programa de Especialista en Nefrología Infantil, Facultad de Medicina, Universidad de Chile

^bFacultad de Medicina, Universidad de Chile, Hospital Dr. Luis Calvo Mackenna

Recibido: 13 de mayo de 2019; Aceptado: 3 de septiembre de 2019

¿Qué se sabe del tema que trata este estudio?

La diálisis peritoneal es la terapia de reemplazo renal más usada en el mundo en la enfermedad renal crónica pediátrica. Para su correcta aplicación se han definido guías con parámetros que permitan una óptima evolución, para alcanzar un trasplante renal en el momento adecuado.

¿Qué aporta este estudio a lo ya conocido?

Esta terapia requiere una permanente supervisión y continuo ajuste, dado por el cambiante escenario que plantea un enfermo renal pediátrico en crecimiento. Para ello, detallamos los conceptos generales y proponemos una aproximación práctica para la indicación inicial, monitorización y adecuación de la diálisis peritoneal pediátrica.

Resumen

La enfermedad renal crónica terminal (ERCT) tiene una incidencia de 5,5 a 9 ppm, y una prevalencia de 23 a 65 ppm en menores de 15 años. La diálisis peritoneal (DP) crónica representa en pediatría la terapia de reemplazo renal más usada, previo al trasplante renal. Existen 2 tipos de DP crónicas, manual (DPCA) y automatizada (DPA), cuya elección se basa en las características del peritoneo evaluado mediante el test de equilibrio peritoneal (PET), que divide a los pacientes en transportadores altos (intercambio rápido), promedio alto, promedio bajo, y bajos (intercambio lento). Este test evalúa básicamente el transporte de solutos, al cual se ha sumado el MiniPET, que evalúa el transporte peritoneal de agua libre. Se debe igualmente determinar la cuantía de diálisis (Kt/V), que representa la dosis de diálisis aplicada, con un valor mínimo sugerido de 1,7, relacionado a la morbimortalidad. Estos parámetros deben ser evaluados periódicamente para ajustar la DP, y cada vez que se sospeche una depuración o ultrafiltración inadecuadas. El objetivo de esta revisión es entregar conceptos básicos sobre fisiología del transporte peritoneal, modalidades de DP, evaluación del transporte de agua y solutos peritoneal, y el cálculo de la dosis de diálisis para una diálisis ajustada a las necesidades de cada paciente, como también revisar los mecanismos de corrección y ajuste del procedimiento cada vez que se requiera.

Palabras clave:

Diálisis;
peritoneo;
membrana peritoneal;
KtV;
PET;
MiniPET;
transporte peritoneal

Correspondencia:
Francisco Cano
fcanosch@gmail.com

Abstract

End-stage renal disease (ESRD) has an incidence of 5.5 to 9 pmp, and a prevalence of 23 to 65 pmp in children under 15 years of age. Chronic peritoneal dialysis (PD) represents the most widely used renal replacement therapy in children before kidney transplantation. There are two PD modalities, the manual one (CAPD) and the automated one (APD). The choice is based on the peritoneum characteristics, evaluated through the peritoneal equilibrium test (PET), which divides patients into high transporters (rapid exchange membrane), high average, low average, and low transporters (slow exchange membrane). This test basically evaluates the solutes transport rate, and the MiniPET has been added which evaluates peritoneal free water transport. The amount of dialysis (Kt/V), which represents the dose of dialysis administered also must be evaluated to assure a minimal value of 1.7 related to morbidity and mortality. These parameters should be evaluated periodically to adjust the PD and whenever suspected an inadequate clearance or ultrafiltration. The objective of this review is to provide basic concepts on peritoneal transport physiology, PD modalities, free water transport and peritoneal solute transport evaluation, and the dialysis dose to be applied according to the patient's needs, as well as reviewing the correction mechanisms and procedure adjustment whenever required.

Keywords:

Dialysis; peritoneum; peritoneal membrane; Kt/V; PET; MiniPET; peritoneal transport

Introducción

La enfermedad renal crónica terminal (ERCT) tiene una incidencia global entre 5,5 y 9 personas por millón de habitantes (ppm)¹, y una prevalencia entre 23 y 65 ppm en menores de 15 años². En Chile la incidencia y prevalencia corresponden a 7.1 ppm y 54,2 ppm respectivamente (datos no publicados). El 50% de las enfermedades que provocan ERCT son adquiridas y el 50% congénitas³ variando según el registro analizado⁴⁻⁷.

Indicaciones de diálisis

En ERCT pediátrica, alrededor del 50% inicia diálisis peritoneal (DP)¹. El objetivo es la compensación del paciente para un trasplante renal oportuno^{8,9}. Además de la tasa de filtración glomerular (TFG), factores como retraso de crecimiento, alteraciones del metabolismo mineral, compromiso cardiovascular y psicosocial, se deben considerar para definir el comienzo de la terapia de sustitución renal (TRR). Indicaciones absolutas de diálisis son una TFG < 8 ml/min/1,73 m², síndrome urémico o alteraciones metabólicas y/o hemodinámicas refractarias. Indicaciones relativas son una TFG 9-14 ml/min/1,73 m² asociado a fatiga, malnutrición, retraso de crecimiento pondo-estatural y/o cefálico, desequilibrio hidroelectrolítico, anemia y alteraciones del metabolismo mineral, entre otros¹⁰.

Indicaciones de DP

La selección de la modalidad de diálisis depende del tipo de paciente y su familia. Indicaciones absolutas de DP son: peso < 5 kg, falta de acceso vascular, imposi-

bilidad de recibir anticoagulación; contraindicaciones se consideran pacientes con onfalocelo, gastrosquisis, extrofia vesical, cavidad peritoneal obliterada, membrana disfuncional y hernia diafragmática. La presencia de ostomías abdominales no constituye contraindicación³.

Fisiología del intercambio peritoneal

El transporte peritoneal se realiza por: 1) *difusión*, gatillada por el gradiente de concentración entre dos compartimientos y utilizada principalmente por moléculas pequeñas (urea, creatinina, glucosa); 2) *convección*, secundaria a la presión hidrostática de los compartimientos, especialmente útil para macromoléculas como albúmina e inmunoglobulinas, y 3) *osmosis*, secundario a la presión osmótica, para el transporte exclusivo de agua libre¹¹. Estos mecanismos actúan a través del endotelio capilar de la membrana peritoneal, el cual consta de 3 tipos de poros^{12,13}: poros pequeños (90-95% del total), radio 40-50 Angstrom, correspondiente a los espacios entre células endoteliales, responsables del 50-60% de la ultrafiltración; poros ultra pequeños (1-2%), 2-4 Angstrom, correspondiente a acuaporinas tipo 1, responsables del 40-50% de la ultrafiltración, dado por el gradiente osmótico de glucosa y su coeficiente de reflexión que alcanza el 100%; y poros grandes (5%), 250 Angstrom, ubicados en el espacio interendotelial venular, claves en el transporte convectivo de macromoléculas.

Otros mecanismos de reabsorción de líquido son los vasos linfáticos y tejido intersticial (retrofiltración). El glicocáliz localizado externamente a las células endoteliales, con su carga negativa, podría tener también un rol en la selectividad de las macromoléculas¹¹.

La superficie de la membrana peritoneal en pediatría tiene relación directa con la superficie corporal, no así con el peso, el cual subestima en casi 2 veces el área peritoneal¹⁴. Esto tiene importancia para calcular volúmenes de dializado y optimizar la superficie de intercambio, considerando que la superficie anatómica en contacto con el dializado es solo 30-60% de la superficie total¹⁵.

Tipos de DP

Existen diferentes modalidades de DP y su elección dependerá de las características del paciente (figura 1) y su entorno. Se dividen en diálisis automatizada y manual, aplicadas de forma continua o intermitente^{10,14,16}:

Diálisis peritoneal automatizada (DPA)

Modalidad más utilizada en niños (82%)¹⁷ e incluye:

- Diálisis peritoneal nocturna intermitente (DPNI)**, sucesivos intercambios nocturnos mediante una máquina.
- Diálisis peritoneal continua cíclica (DPCC)** con sucesivos intercambios nocturnos automatizados y una última infusión durante el día que puede cambiarse manualmente.
- Diálisis peritoneal tidal (DPT)**: diálisis nocturna en la cual se infunde un primer baño y se realizan los siguientes intercambios con 10 a 50% del volumen inicial. Permite maximizar la difusión y disminuir el dolor por drenaje;
- Diálisis peritoneal automatizada adaptada (DPAa)**: con diferentes tiempos y volúmenes de baños en una misma sesión de diálisis, baños rápidos con 50% del volumen al inicio de la sesión para mejor ultrafiltración, seguidos de baños largos con 100% del volumen^{12,15,17}.

Diálisis peritoneal continua ambulatoria (DPCA)

Considera intercambios manuales diurnos y uno nocturno, lo que permite una diálisis continua de 24 h. Es la forma más utilizada en adultos.

Líquidos de diálisis

Existen diferentes tipos según el agente osmótico (glucosa, icodextrina, aminoácidos), tampón (lactato, bicarbonato), pH (5,5, 7,0, 7,4), concentración de calcio (1,25 a 3,5 mmol/l) utilizada y osmolalidad (346 a 511 mOsm/L). Los más biocompatibles tienen un pH neutral, bicarbonato como tampón y polímeros de glucosa¹⁴. La glucosa es el agente osmótico más utilizado, en concentraciones 1,36%, 2,27% y 3,36%

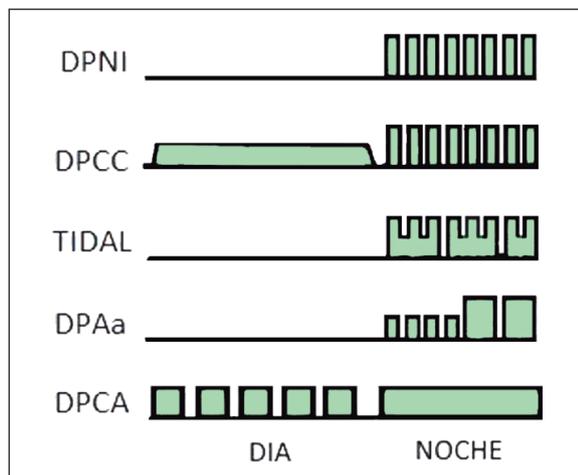


Figura 1. Tipos de diálisis peritoneal.

(dextrosa 1,5%, 2,5% y 4,25%)¹⁸. Las concentraciones altas permiten mayor ultrafiltración, pero se asocian a anorexia, hiperglicemia, dislipidemia, insulinoresistencia y estrés oxidativo¹³. El proceso de esterilización por calor de las soluciones genera productos finales de glicosilación avanzada (AGEs) que afectan la membrana por liberación de factores de crecimiento, como el factor de crecimiento vascular y factor de crecimiento transformante beta, asociados a neoangiogénesis e hiperpermeabilidad inicial, seguido por fibrosis y falla de membrana¹⁹. Para disminuir el daño existen bolsas con doble cámara que separan la glucosa y permiten esterilizarla a menor temperatura¹³. La Icodextrina, un polímero de glucosa de 16.200 Da, presenta un efecto coloide que genera una ultrafiltración (UF) lenta y sostenida. En niños pequeños puede provocar disminución de UF y peritonitis estéril por contaminación con bacterias termofílicas^{15,17}. Existen también soluciones con aminoácidos, diseñados para mejorar el estado nutricional, pero pueden provocar uremia y acidosis¹³. La concentración de sodio varía entre 130 a 137 meq/l; el calcio varía en 1,75, 2,5 y 3,5 mmol/l, y el magnesio en 0,25 y 0,5 mmol/l. El tampón más utilizado es el lactato, pero el bicarbonato (25-40 meq/l) en soluciones puras o mixtas con lactato, es más fisiológico¹⁸.

Dosis de diálisis

La dosis de diálisis se calcula mediante una fórmula, Kt/V de urea²⁰, relacionada a morbimortalidad. Los parámetros que considera son:

- K: cantidad de plasma depurada de urea, calculada con la fórmula UV/P, que representa la concentración de urea en orina (U) o dializado (D), multiplicado por el volumen total del líquido (V), y dividido por la urea en plasma (P).

- t: tiempo de aplicación de K, 7 días.
- V: volumen de distribución de la urea (agua corporal total) calculada por $0,6 \times \text{peso (kg)}$.

Esta fórmula se utiliza para extrapolar la teórica remoción de otras moléculas, y dar una estimación cuantitativa de la diálisis¹⁴. El estudio CANUSA²¹ recomendó un Kt/V de urea total (peritoneal más renal) de 2,1, pero un reanálisis mostró que la sobrevida se encontraba asociada a la función renal residual (FRR)²². El estudio ADEMEX²³ mostró igual sobrevida con Kt/V entre 1,62 y 2,13¹⁸, mientras que otro estudio controlado randomizado²⁴ tampoco encontró diferencias entre 1,5 y 1,7. En pediatría se recomienda una dosis de diálisis igual o mayor a la mínima recomendada en adultos, Kt/V de 1,7^{10,18}, de acuerdo a la fórmula²⁰:

Kt/V peritoneal:

$$\frac{\text{Dializado/Plasma urea (mg/dl)} \times \text{Volumen dializado 24 h (L)} \times 7}{\text{Peso (kg)} \times 0,6}$$

Kt/V residual:

$$\frac{\text{Orina/Plasma urea (mg/dl)} \times \text{Volumen orina 24 h (L)} \times 7}{\text{Peso (kg)} \times 0,6}$$

El concepto de diálisis adecuada debe considerar también factores como el balance hídrico, estado nutricional, cardiovascular, crecimiento, anemia, metabolismo calcio-fósforo y preservación de la FRR. En adultos, cada 250 ml de diuresis la mortalidad disminuye 36%²⁵, en niños la FRR impacta en el control del volumen, depuración de fosfato, calcio y calidad de vida, siendo primordial en la remoción de macromoléculas como la beta 2 microglobulina, que no son depuradas adecuadamente por la DP²⁶.

La dosis de diálisis se divide en un número de baños diarios, manteniendo una presión intraperitoneal (PIA) segura. Se recomienda un volumen por baño de 1.000-1.200 ml/m² en niños > 2 años, equivalente a 2.000 ml/1,73 m² en adultos¹³. Este volumen no sobrepasa la presión máxima recomendada de 12 ± 2 cmH₂O, la cual se alcanza con 1.400 ml/m², y asegura un óptimo reclutamiento de la superficie de membrana¹⁷. Para niños < 2 años se recomiendan volúmenes de 600-800 ml/m² sin superar los 8 a 10 cmH₂O, evaluando tolerancia clínica o midiendo PIA (10,15,27). En vista que la PIA es mayor en bipedestación, se recomienda que los baños diurnos sean del 50% del volumen nocturno¹⁴.

Inicio de DP

1. Preparación de la familia

Los cuidadores deben ser evaluados desde el punto de vista psicosocial y capacitados continuamente en

aspectos teóricos y prácticos del funcionamiento de la diálisis y sus complicaciones²⁸.

2. Catéter peritoneal

La recomendación actual es utilizar catéter Tenckhoff, doble cuff, con túnel subcutáneo orientado hacia abajo o lateral, con salida del cuff externo a 2 cm del orificio de salida para evitar la extrusión, sin uso de suturas para evitar la colonización, y utilizando profilaxis antibiótica una hora previo al procedimiento. El catéter debe estar alejado de la zona del pañal, cinturón y ostomías^{28,29}. Existen diferentes tamaños: infantil (38,8 cm); pediátrico (42,5 cm), y adulto (62,5 cm). Los cuidados posteriores incluyen cambio de línea de transferencia cada 6 meses y posterior a una peritonitis, y las curaciones del orificio de salida, por una enfermera capacitada, al séptimo día después de instalado (curaciones más frecuentes promueven colonización) y posteriormente de forma diaria con solución salina, manteniendo inmovilizado para promover la cicatrización²⁸. Se recomienda un tiempo de cicatrización de 2 a 6 semanas antes de su uso, realizando permeabilizaciones con baños de entrada y salida diarios con dianeal 10 ml/kg y heparina 500 IU/l por 7 días, luego día por medio por 1 semana y posteriormente semanal hasta que comience su uso.

3. Inicio de diálisis

a) Automatizada (DPA)

Cálculo de volumen total por Kt/V teórico

Para calcular el volumen de la dosis de diálisis inicial en pacientes incidentes, se puede realizar un ejercicio teórico usando un Kt/V de 2,1, y asumiendo un relación dializado/plasma (D/P) de urea promedio alto, en nuestro centro usamos un valor de 0,7, para luego despejar V como parámetro de interés en la fórmula. Se debe objetivar el Kt/V residual, para restar ese valor del Kt/V total calculado.

Cálculo del volumen, número de baños y permanencia

El volumen teórico calculado debe fraccionarse para baños de 900-1.100 ml/m² en mayores de 2 años, y 600-800 ml/m² en menores (promedio 5-10 ciclos nocturnos en 8-12 h). Si no existe urgencia, iniciar con el 50% del volumen calculado por baño y aumentar progresivamente en los siguientes 7 a 14 días hasta llegar al volumen total. Utilizar la menor concentración de glucosa que permita un adecuado gradiente de concentración, usualmente iniciando al 1,5%.

Último baño o última infusión

En pacientes anúricos o transportadores promedio puede ser necesario un último baño de >50% del volumen de baño habitual, pacientes en DPNI con FRR

en general no lo requieren. La tabla 1 muestra ejemplos de inicio de diálisis crónica. Si se requiere un inicio inmediato post instalación de catéter, usar 200 ml/m² por baño para lactantes y 300 ml/m² por baño para niños mayores, con 12 a 24 baños/día, manteniendo el volumen inicial por 7 días e incrementando progresivamente en 14 a 21 días hasta alcanzar el volumen del Kt/V teórico calculado.

b) Manual (DPCA)

Se realizan baños manuales durante las 24 h, con intercambios de duración constante durante el día (en general 3-4) y un baño largo durante la noche. Esta diálisis es utilizada con menor frecuencia en pediatría, ya que se obtiene una menor dosis de diálisis, además de considerar factores como la escolaridad y dependencia de terceros. Se puede comenzar con 4 a 8 intercambios de 200 ml/m² por cada baño para lactantes y 300 ml/m² para niños mayores, incrementando en los siguientes 7 a 14 días. Para el ajuste posterior se recomiendan 3 baños de 3 a 5 h en el día y 1 baño nocturno de 9 a 12 h con los volúmenes máximos por baño comentados previamente.

4. Evaluación del transporte peritoneal

El test de equilibrio peritoneal o PET es una prueba semicuantitativa que mide la velocidad de transferencia peritoneal. Se evalúa midiendo la aparición de creatinina (D/P) y la caída de la concentración de

glucosa (D_x/D₀) en dializado. El PET clásico evalúa la creatinina en dializado a las horas 0-2-4 y en plasma a la hora 2, calculando la relación D₀₋₂₋₄/P₂ de creatinina, y para glucosa la relación D₀₋₂₋₄/D₀. El PET acortado (*Short PET*) utiliza los valores a la hora 2 en lugar de la hora 4^{30,31}. Los resultados se comparan con rangos estandarizados para la población local clasificando la membrana peritoneal en 4 grupos: transportadores altos, promedio altos, promedio bajos y transportadores bajos (figura 2). Los transportadores altos o rápidos tendrán un D₄/P₂ de creatinina cercano a 1, y un D₄/D₀ de glucosa cercano a 0, dado que la glucosa final vs la inicial será menor por degradación, transporte y dilución de la molécula. Los transportadores bajos se comportarán de manera opuesta¹². Es importante un baño pretest (*pre-exchange dwell*) de 3 a 8 h de permanencia, para un equilibrio dializado/plasma, calculando el volumen del baño por área de superficie corporal y no por kg de peso, ya que este último subestima el volumen necesario, generando un equilibrio más rápido y simulando un alto transportador¹⁴. Este test permite definir la modalidad de diálisis según el tipo de transportador: transportadores rápidos requieren tiempos de permanencia cortos ya que el gradiente osmótico de la glucosa se disipa rápidamente y el *peak* de ultrafiltración es precoz, recomendándose una diálisis DPA/DPNI; en forma inversa, los transportadores lentos requerirán tiempos mayores, 4 a 6 horas (DPCA), ya que su *peak* de ultrafiltración es más tardío y tiempos

Tabla 1. Cálculo e indicación de diálisis peritoneal a diferentes edades

	Menor de 2 años Ej.: 11 Kg, sc 0,5	Mayor de 2 años Ej.: 20 Kg, sc 0,79
Cálculo Kt/V teórico	$Kt/V = \frac{D/P \times \text{Vol. dial 24 h} \times 7}{\text{Peso} \times 0,6}$	$Kt/V = \frac{D/P \times \text{Vol. dial 24 h} \times 7}{\text{Peso} \times 0,6}$
	$2,1 = \frac{0,7 \times \text{Vol. dial 24 h} \times 7}{11 \times 0,6}$	$2,1 = \frac{0,7 \times \text{Vol. dial 24 h} \times 7}{20 \times 0,6}$
	$\text{Vol. 24 h} = \frac{2,1 \times 11 \text{ Kg} \times 0,6}{0,7 \times 7}$	$\text{Vol. 24 h} = \frac{2,1 \times 20 \text{ Kg} \times 0,6}{0,7 \times 7}$
	Vol. 24 h = 2,8 (L)	Vol. 24 h = 5,1 (L)
Volumen por baño	Máx. 800 ml/m ² = 400 ml por baño	Máx. 1100 ml/m ² = 870 ml por baño
Número de baños	Requiere 2.800 ml/día y baños de 400 ml = 7 baños de 400 ml	Requiere 5.100 ml/día y baños de 870 ml = 6 baños de 870 ml
Tiempo permanencia	1 h	1 h
Indicación	Dianeal 1,5% 7 baños de 200 ml (50%) 1 h permanencia Tiempo total: 8 h	Dianeal 1,5% 6 baños de 430 ml (50%) 1 h permanencia Tiempo total: 7 h
	Aumentar cada 3 días 50 ml por baño hasta llegar a baños de 400 ml (máx.)	Aumentar cada 3 días 100 ml por baño hasta llegar a baños de 870 ml (máx.)

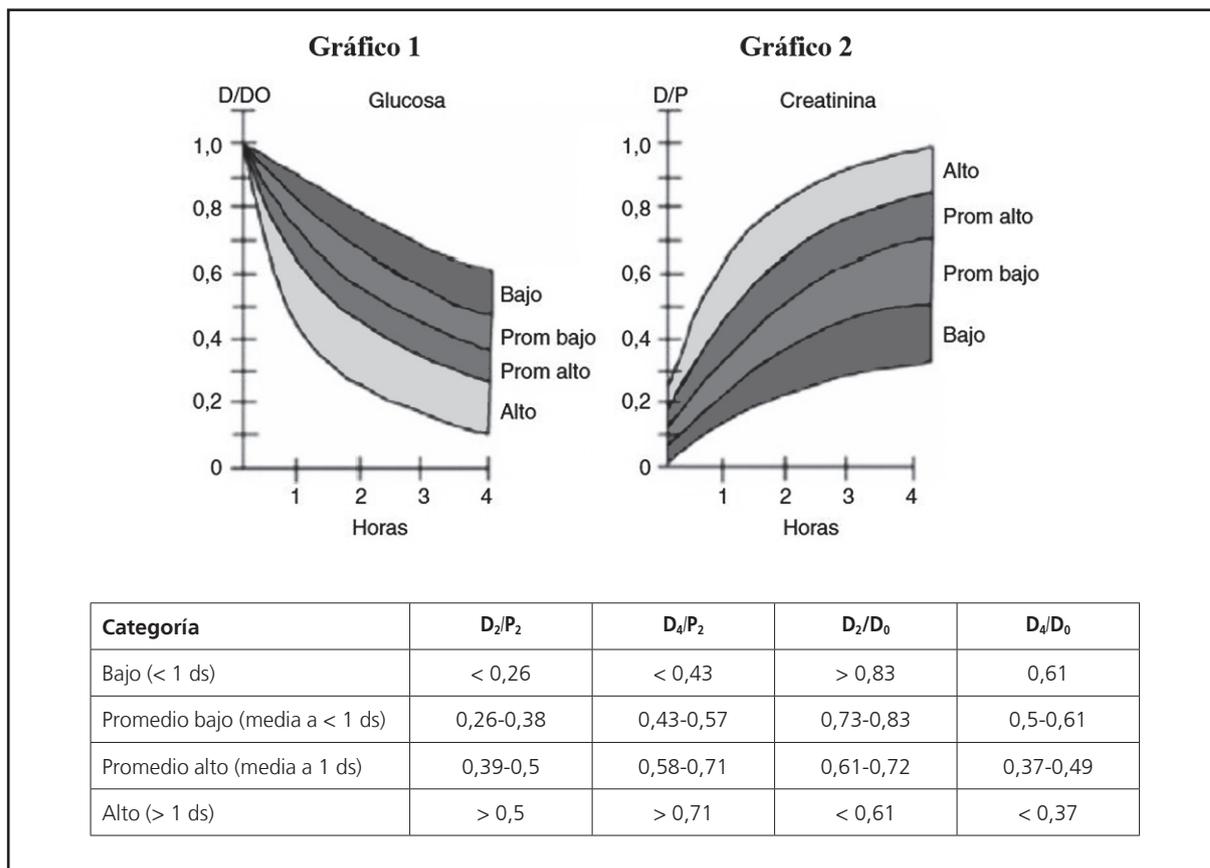


Figura 2. Gráfico 1: muestra relación $D_{0-2,4}/D_0$ de glucosa. Gráfico 2: muestra relación $D_{0-2,4}/\text{Plasma}$ de creatinina, adaptado de (12). Los valores específicos para Short PET y PET clásico para creatinina (D/P) y glucosa (D/D) se encuentran en gráfico inferior. Adaptado de (31).

más cortos no permitirán alcanzarlo¹⁴. Los transportadores promedio pueden beneficiarse de regímenes de diálisis mixtos, como DPCC. Se ha demostrado que los transportadores altos presentan un menor crecimiento, inadecuado control de peso, enfermedad de bajo recambio óseo en niños y mayor morbilidad en adultos¹³. Los pasos para realizar un *short* PET son los siguientes:

Preparación noche previa

- Paciente estable desde el punto de vista clínico y bioquímico
- Menores de 10 kg o 2 años: baño pre-PET de 600-800 ml/m², permanencia de 4-6 h, concentración glucosa habitual.
- Mayores de 10 kg o 2 años: baño pre-PET de 1.100 ml/m², permanencia de 4-6 h con Dianeal 2,5%.

Día del examen

- Drenar última infusión.
- Instalar bolsa de Dianeal 2,5% con conexión tipo Y.

- Infundir 1.100 ml/m² en 15 min con paciente en posición supina, girando de lado a lado para favorecer mezcla.
- Obtener muestras de dializado al minuto 0 y 120 para creatinina y glucosa (10 ml).
- Obtener muestras de sangre al minuto 120 para creatinina.
- Drenar a los 120 min.
- Calcular la relación D_2/P_2 de creatinina y la relación D_2/D_0 de glucosa. Clasificar según valores de corte para la población (figura 2).

5. Evaluación de la ultrafiltración

La UF se realiza principalmente por convección por poros pequeños y por osmosis de poros ultra pequeños (*USP*). El transporte de agua libre evita la sobrecarga de volumen, y se ha relacionado al pronóstico cardiovascular²⁵. El PET no evalúa el transporte de agua por los USP³², en cambio el miniPET permite esta evaluación administrando una solución hipertónica de glucosa 3,86% en el peritoneo y midiendo la caída de la concentración de sodio en la solución a

los 60 min, efecto denominado “dip de sodio”, que resulta de la dilución del ion por transporte de agua. La disminución del sodio tiene una correlación lineal con el transporte de agua libre vía acuaporinas, máximo a la primera hora por el efecto osmótico de la solución hipertónica¹². La UF de USP se obtiene restando de la UF total la UF de poros pequeños, calculada dividiendo la remoción de sodio por la concentración de sodio plasmático; el valor final se normaliza por superficie corporal³³. En un estudio local se identificó un valor de 110 ml/m² como punto de corte para el transporte de agua libre en función del impacto cardiovascular, correlacionando valores menores a este con hipertrofia de ventrículo izquierdo³². El protocolo miniPET se encuentra detallado en publicaciones previas^{12,33}.

El examen APEX (*accelerated peritoneal examination time*), ha sido propuesto para evaluar el tiempo de permanencia óptimo para una adecuada UF. Corresponde a la intersección entre la curva de urea y glucosa en el examen PET clásico, que determina el momento de máxima UF¹⁰. En general es poco utilizado como parámetro, ya que requiere realizar un PET clásico.

6. Monitorización

Una diálisis inadecuada manifiesta síntomas urémicos, compromiso cardiovascular, hipervolemia, retraso del crecimiento, hipertensión de difícil control y alteraciones hidroelectrolíticas persistentes. Frente a una evolución tórpida se debe evaluar: a) inadecuada prescripción para el tipo de transporte de la membrana peritoneal; b) pérdida de FRR (Kt/V residual); c) Kt/V peritoneal bajo requerimientos; d) pérdida de superficie peritoneal; e) mal funcionamiento del catéter peritoneal; f) mala adherencia.

Como indicadores de calidad en DP se propone^{13,14}:

- Mensual: Antropometría (incluyendo perímetro craneano en niños < 2 años), perfil bioquímico, gases venosos, presión arterial, hemograma, electrolitos plasmáticos, ultrafiltración diaria.
- Cada 1-3 meses: Ferritina, parathormona, vitamina D, evaluación nutricional y peso seco por Bioimpedanciometría, diuresis, cultivo de orificio de salida y nasal de paciente y cuidador (cada 3 meses).
- Cada 4 a 6 meses: Dosis de Diálisis (Kt/V peritoneal y residual), PET.
- Cada 6 meses: Desarrollo psicomotor, rendimiento escolar, ecocardiograma (cálculo de índice de masa ventricular)
- Anual: Monitoreo ambulatorio de presión arterial.

7. Ajuste de la prescripción de diálisis

a) Diálisis automatizada

En caso de diálisis inadecuada, se puede indicar lo siguiente:

- Aumentar el volumen de cada baño (hasta máximo permitido). Indicado para transportador alto, promedio alto o Kt/V límite.
- Añadir un baño diurno: en pacientes con día seco se añade un baño largo y en pacientes con un baño diurno se puede añadir un segundo intercambio manual. Indicado para transportadores promedio o Kt/V límite.
- Aumentar el tiempo total de diálisis: permite incrementar el tiempo de cada baño y por lo tanto el intercambio. Indicado para transportadores promedio, o Kt/V límite
- Aumentar el número de baños: para transportadores rápidos; en transportadores lentos debe ir acompañado de un aumento en el tiempo total de diálisis.

b) Diálisis manual

- Aumentar el volumen del baño es la forma más efectiva. Se puede aumentar el volumen de 2 de los 4 baños, y si aún no se alcanza el Kt/V necesario, aumentar los restantes.
- Añadir un baño adicional: se puede añadir un quinto baño durante el día o en la noche.

En la figura 3 se presenta un algoritmo de posibles decisiones.

8. Manejo de la ultrafiltración

Falla de UF

Es la segunda causa de diálisis inadecuada y se define como una UF menor a 150 ml/m², pudiendo generar retención de sodio y agua, hipertensión arterial y compromiso cardiovascular. Las principales causas son^{15,34}:

- Falla de membrana: Prescripción de diálisis inadecuada al PET, volumen de baño insuficiente para la superficie de membrana, caída del transporte peritoneal por convección, disfunción de acuaporinas, mayor reabsorción linfática por elevada presión intraperitoneal.
- Causas mecánicas: obstrucciones del catéter por omento o mal posición, disrupción peritoneal (poco frecuente), secuestro de fluido por adherencias peritoneales secundarias a peritonitis.

Estrategias para optimizar la UF:

En transportadores rápidos y promedio rápido:

- Acorotar tiempo de permanencia; b) aumentar

Diálisis inadecuada			
Paso 1	Realizar PET y definir si modalidad actual es la adecuada		
	DPNI para transportador rápido o promedio rápido DPCC para transportador promedio DPCA para transportador lento		
	Si modalidad es inadecuada , cambiar a la correspondiente para su tipo de transporte Si modalidad es adecuada , seguir los siguientes pasos para mejorarla		
	DPNI	DPCC	DPCA
Paso 2	Aumentar número de baños manteniendo tiempo total	Aumentar volumen de baños	Aumentar volumen de baños
	Control en 1 mes con Kt/V, si persiste alterado seguir con paso 3		
Paso 3	Aumentar volumen de baños	Añadir un segundo baño diurno	Aumentar número de baños
	Control en 1 mes con Kt/V, si persiste alterado seguir con paso 4		
Paso 4	Aumentar el tiempo total de diálisis nocturna	Aumentar el tiempo total de diálisis nocturna	Considerar paso a hemodiálisis
	Control en 1 mes con Kt/V, si persiste alterado seguir con paso 5		
Paso 5	Considerar paso a DPCC	Considerar paso a DPCA	

Figura 3. Recomendación para ajuste de diálisis en pacientes con diálisis inadecuada.

volumen de baños; c) aumentar concentración de glucosa; d) agregar un baño de icodextrina diurno.

En transportadores promedio bajo y bajos:

a) aumentar tiempo de permanencia; b) aumentar volumen de baños; c) aumentar concentración de glucosa; d) cambiar uno de los baños diurnos de glucosa por icodextrina.

9. Diálisis en lactantes

La instalación de catéter peritoneal se puede realizar en recién nacidos, iniciando diálisis con volúmenes de 10-20 ml/kg (300-600 ml/m²) e incrementando hasta 600-800 ml/m², con baños de 1 h o menos para una ultrafiltración adecuada. Los lactantes pierden hasta 250 mg/kg de proteínas por la diálisis, por lo que se recomienda una dieta con al menos 1.8 g/kg/día en los primeros 6 meses, las pérdidas de sodio también pueden ser altas, pudiendo suplementarse con 3-5 meq/kg/día. Presentan complicaciones neurológicas y respiratorias en un 30%. Los casos de hipotensión severa pueden causar neuropatía isquémica óptica anterior con ceguera y edema cerebral³⁵.

10. Manejo del fósforo

El fosfato es el principal anión intracelular³⁶. Su volumen de distribución corresponde al agua corporal total, pero no difunde libremente. Su peso molecular es similar a la urea (96 Da), pero por sus propiedades hidrofílicas se rodea de una capa acuosa que le otorga características de una molécula de mayor tamaño³⁷. Tiene un radio de 2,8 Angstrom, similar a la creatinina, y carga negativa al igual que los capilares y matriz intersticial peritoneal, lo que disminuye su difusibilidad. Su transporte se relaciona así con los gradientes osmóticos, químicos, eléctricos y con el transporte activo transmembrana, siendo más complejo que el transporte de urea o creatinina³⁸, por lo cual la depuración de urea no tiene buena correlación con la depuración de fosfato.

La hiperfosfemia se correlaciona directamente con el hiperparatiroidismo, enfermedad metabólica ósea y compromiso cardiovascular en ERC³⁹⁻⁴². La remoción de fósforo disminuye con la pérdida de diuresis residual, siendo importante tener una depuración peritoneal adecuada³⁶. El transporte se realiza principalmente por difusión y convección a través de la membrana

peritoneal, y es tiempo dependiente^{36,37}. La DPCA permite mejorar su remoción en pacientes transportadores promedio y transportadores lentos, comparado con DPCC^{36,37}, por lo cual en DPNI la recomendación es añadir un baño largo en el día⁴³, monitoreando el efecto sobre la UF en rápidos transportadores. En transportadores rápidos el fósforo se comportaría como una molécula pequeña y podrían manejarse en DPA, en los otros transportadores se comportaría como una molécula mediana y es preferible manejar con DPCC o DPCA a volúmenes altos³⁸.

11. Sobrevida técnica y del paciente

La sobrevida técnica de la DP a 5 años alcanza al 80%^{3,7}. Las principales causas de término de diálisis incluyen el trasplante renal (69%) y los cambios en modalidad de diálisis (17%) principalmente por infecciones (33%), falla en UF (25%) y adherencias (12%)^{3,29}. La mortalidad de los pacientes con ERCT es 30 veces más alta que en niños sanos⁴⁴, y en diálisis es de 5-8%^{29,45}, seis veces más alta que niños trasplantados¹. No se ha probado superioridad entre modalidades dialíticas. Las principales causas de muerte son

las enfermedades cardiovasculares (30%) e infecciones (20%)⁴⁴. Se ha logrado una mejoría en la sobrevida de los pacientes a 5 años de 90% a 95% comparando cohortes entre la década del 90 y el 2000, los menores de 1 año también han mejorado su sobrevida, pero sigue siendo la menor a nivel global (84%)^{29,44,46}.

Conclusiones

El conocimiento de la fisiología del transporte peritoneal, el cálculo de la dosis de diálisis o Kt/V, el diagnóstico del tipo de transportador mediante el PET y del transporte de agua libre mediante el MiniPET, son elementos indispensables para obtener una diálisis adecuada. La terapia óptima será la que garantice un mejor crecimiento, equilibrio bioquímico, evite el deterioro cardiovascular y permita alcanzar el trasplante renal en condiciones estables.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Referencias

- Harambat J, Bonthuis M, Groothoff J et al. Lessons learned from the ESPN/ERA-EDTA Registry. *Pediatr Nephrol*. 2016;31:2055-64.
- Harambat J, van Stralen K, Kim J et al. Epidemiology of chronic kidney disease in children. *Pediatr Nephrol*. 2012;27:363-73.
- Schaefer F, Warady B. Peritoneal dialysis in children with end-stage renal disease. *Nat Rev Nephrol*. 2011;7:659-68.
- North American Pediatric Renal Trials and Collaborative Studies. NAPRTCS. 2011 Annual Dialysis Report.
- Clinical statistics. International Pediatric Dialysis Network. Disponible en: www.pedpd.org.
- Reporte del registro anual ERA-EDTA 2016. Disponible en: <https://www.espn-reg.org/index.jsp?p=pua>.
- Schaefer F, Borzych-Duzalka D, Azocar M et al. Impact of global economic disparities on practices and outcomes of chronic peritoneal dialysis in children: insights from the international pediatric peritoneal dialysis network registry. *Perit Dial Int*. 2012;32:399-409.
- Winnicki E, McCulloch CE, Mitsnefes MM et al. Use of the kidney failure risk equation to determine the risk of progression to end-stage renal disease in children with chronic kidney disease. *JAMA Pediatr*. 2017. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2017.40>.
- Rees L. Assessment of dialysis adequacy: beyond urea kinetic measurements. *Pediatr Nephrol*. 2019;35:61-69.
- Warady B, Neu A, Schaefer F. Optimal Care of the Infant, Child, and Adolescent on Dialysis: 2014 update. *Am J Kidney Dis*. 2014;64(1):128-42.
- Devuyst O, Goffin E. Water and solute transport in peritoneal dialysis: models and clinical applications. *Nephrol Dial Transplant*. 2008;23:2120-3.
- Bolte L, Cano F. Adecuación en diálisis peritoneal pediátrica. Del test de equilibrio peritoneal a las aquaporinas. *Rev Chil Pediatr*. 2015;86:386-92.
- Verrina E, Cappelli V, Perfumo F. Selection of modalities, prescription, and technical issues in children on peritoneal dialysis. *Pediatr Nephrol*. 2009; 24:1453-64.
- Warady B, Schaefer F, Alexander S. Pediatric dialysis case studies. A practical guide to patient care. First Edn. Springer, Switzerland, 2017; pp. 11-8.
- Fischbach M, Warady B. Peritoneal dialysis prescription in children: bedside principles for optimal practice. *Pediatr Nephrol*. 2009;24:1633-42.
- Kim Y, Kawanishi H. The essentials of clinical dialysis. First Edn. Springer. Singapore, 2018; pp. 163-78.
- Fischbach M, Dheu C, Seugé-Dargnies L, et al. Adequacy of peritoneal dialysis in children: consider the membrane for optimal prescription. *Perit Dial Int*. 2007; 27(S2):167-70.
- Guía clínica diálisis peritoneal. Serie de guías clínicas MINSAL 2010.
- Devuyst O, Margetts P, Topley N. The Pathophysiology of the Peritoneal Membrane. *J Am Soc Nephrol*. 2010;21:1077-85.
- Cano F. Adecuación de la diálisis peritoneal continua ambulatoria en pediatría. *Rev Med Chile*. 1999;127:848-55.
- Canada-USA (CANUSA) Peritoneal Dialysis Study Group. Adequacy of dialysis and nutrition in continuous peritoneal dialysis: association with clinical outcomes. Canada-USA (CANUSA) Peritoneal Dialysis Study Group. *J Am Soc Nephrol*. 1996;7:198-207.
- Bargman JM, Thorpe KE, Churchill DN, CPDS Group. Relative contribution of residual renal function and peritoneal clearance to adequacy of dialysis: a reanalysis of the CANUSA study. *J Am Soc Nephrol*. 2001;12:2158-62.
- Paniagua R, Amato D, Vonesh E, et al. Effects of increased peritoneal clearances on mortality rates in peritoneal dialysis: ADEMEX, a prospective, randomized, controlled trial. *J Am Soc Nephrol*. 2002;13:1307-20.

24. Lo WK, Ho YW, Li CS, et al. Effect of Kt/V on survival and clinical outcome in CAPD patients in a randomized prospective study. *Kidney Int.* 2003; 64:649-56.
25. Cano F, Rojo A, Azocar M et al. The mini-PET in pediatric peritoneal dialysis: A useful tool to predict volume overload? *Pediatr Nephrol.* 2013;28:1121-6.
26. Montini G, Amici G, Milan S, et al. Middle molecule and small protein removal in children on peritoneal dialysis. *Kidney Int.* 2002;61:1153-9.
27. Pérez V, Sanz S, Hernández E, et al. La presión intraperitoneal en diálisis peritoneal. *Nefrología.* 2017;37:579-86.
28. Warady B, Bakkaloglu S, Newland J, et al. Consensus guidelines for the prevention and treatment of catheter-related infections and peritonitis in pediatric patients receiving peritoneal dialysis: 2012 update. *Perit Dial Int.* 2012;32 Suppl 2: S32-86.
29. Weaver D, Somers M, Martz K, et al. Clinical outcomes and survival in pediatric patients initiating chronic dialysis: a report of the NAPRTCS. *Pediatr Nephrol.* 2017;32(12):2319-30.
30. Warady B, Jennings J. The short PET in pediatrics. *Perit Dial Int.* 2007; 27:441-5.
31. Cano F, Sánchez L, Rebori A, et al. The short peritoneal equilibration test in pediatric dialysis. *Pediatr Nephrol.* 2010;25:2159-64.
32. Bolte L, Ibacache M, Delgado I, et al. Assessment of Free Water Transport through MiniPET and its association with cardiovascular status in children on peritoneal dialysis. *Perit Dial Int* 2019, in press.
33. La Milia V, Di Filippo S, Crepaldi M, et al. Mini-peritoneal equilibration test: A simple and fast method to assess free water and small solute transport across the peritoneal membrane. *Kidney Int.* 2005;68:840-6.
34. Warady B, Schaefer F, Alexander S. Pediatric dialysis case studies. A practical guide to patient care. First Edn. Springer, Switzerland, 2017; pp 83-88.
35. Warady B, Schaefer F, Alexander S. Pediatric dialysis case studies. A practical guide to patient care. First Edn. Springer, Switzerland, 2017; pp 27-35.
36. Courivaud C, Davenport A. Phosphate removal by peritoneal dialysis: the effect of transporter status and peritoneal dialysis prescription. *Perit Dial Int.* 2016;36(1):85-93.
37. Badve S, Zimmerman D, Knoll G et al. Peritoneal Phosphate Clearance is Influenced by Peritoneal Dialysis Modality, Independent of Peritoneal Transport Characteristics. *Clin J Am Soc Nephrol.* 2008;3:1711-7.
38. Kuhlmann M. Phosphate Elimination in Modalities of Hemodialysis and Peritoneal Dialysis. *Blood Purif* 2010; 29:137-44.
39. Shroff R, Donald A, Hiorns M, et al. Mineral metabolism and vascular damage in children on dialysis. *J Am Soc Nephrol.* 2007;18:2996-3003.
40. Rees L. Assessment of dialysis adequacy: beyond urea kinetic measurements. *Pediatr Nephrol.* 2019;34:61-9.
41. Civilibal M, Caliskan S, Adaletli I et al. Coronary artery calcifications in children with end-stage renal disease. *Pediatr Nephrol.* 2006; 21:1426-33.
42. Taylor J, Oladitan L, Denan A, et al. Psychosocial factors that create barriers to managing serum phosphorus levels in pediatric dialysis patients: a retrospective analysis. *J Ren Nutr.* 2016;26:270-5.
43. Guías EMO KDIGO 2017.
44. Chesnaye N, van Stralen K, Bonthuis M et al. Survival in children requiring chronic renal replacement therapy. *Pediatr Nephrol.* 2018;33:585-94.
45. Hattori M. Current Trend of Pediatric renal replacement therapy in Japan. *Contrib Nephrol.* 2018; 196:223-8.
46. Vidal E, van Stralen K, Chesnaye N, et al. Infants Requiring Maintenance Dialysis: Outcomes of Hemodialysis and Peritoneal Dialysis. *Am J Kidney Dis.* 2017;69(5):617-25.