

Cinética de fósforo en pacientes con insuficiencia renal crónica en hemodiálisis

Juan Manuel Duran*^{1,2}, María Inés Gil Arredondo^{1,2}, Pedro Trinidad Ramos²

<https://orcid.org/0000-0002-9483-0990>

<https://orcid.org/0000-0001-5593-1484>

<https://orcid.org/0000-0002-9659-8347>

1. División de estudios de posgrado e investigación, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
2. Servicio de Nefrología, Hospital de Especialidades "Dr. Bernardo Sepúlveda", Centro Médico Nacional Siglo XXI, Instituto Mexicano de Seguridad Social, México D.F.

Resumen

Introducción: La hiperfosfatemia es uno de los factores asociados a la alta mortalidad en pacientes con insuficiencia renal crónica en programas de diálisis. El objetivo del presente estudio fue realizar una cinética del fósforo sérico (P) intra y post diálisis tomando en cuenta factores como el tiempo de diálisis y el flujo extracorpóreo (Qs).

Métodos: El presente estudio transversal se realizó de septiembre 2018 a enero 2019. Se analizaron la fosfatemia basal, a los 60, 120, 180 y 240 intradiálisis y 1 y 2 horas post-hemodiálisis. Se realizó un análisis descriptivo. Se realizó regresión lineal para determinar factores asociados a los niveles séricos de P post-hemodiálisis.

Resultados: Se incluyeron 56 pacientes, de 48 ± 13 años, 30 mujeres (53%), 46 con catéter (82%), 27 (48%) recibieron tratamiento por 240 minutos. Qs de 300 ml/min en el 11%, de 350 ml/min en 65%, de 400 ml/min en el 26% de los casos. pH 7.3 ± 0.6 , Hemoglobina 9.4 ± 1.6 gr/dL. El P basal, a los 60, 120, 180 y 240 minutos fue de 5.3, 3.5, 2.9, 2.7 y 2.6 mg/dl respectivamente. El P a los 60 y 120 minutos post HD fueron de 3.5 y 3.75 mg/dl respectivamente. Factores asociados al nivel del fósforo fueron a 120 min post hemodiálisis fueron la hemoglobina $P=0.004$ Coeficiente beta estandarizado (CBE) 0.247 (IC95% 0.04-0.219) y la remoción de fósforo a los 240 minutos $P=0.001$, CBE=0.503, (IC95% 0.265-0.905).


Conclusiones: La disminución de la fosforemia en el grupo de estudio fue del 50.9% con un rebote de elevación a las 2 horas del 21.82%. La hemoglobina por encima de 11 gr/dl es un factor asociado a hiperfosforemia. La intensidad de la remoción de fósforo a los 240 minutos se asocia con los niveles de fósforo séricos.

Palabras claves:

DeCS: Diálisis Renal, Hemodiafiltración, Trastornos del Metabolismo del Fósforo, Hiperfosfatemia; Cinética.

Received: June 3, 2022
Accepted: September 1, 2022
Published: September 8, 2022
Editor: Dr. Franklin Mora Bravo.

Cite:
Duran J, Gil M, Trinidad P.
Phosphorus kinetics in patients with chronic renal failure on hemodialysis. REV SEN 2022;10(2):56-63. DOI: <https://doi.org/10.56867/13>

 Copyright Durán J, et al. This article is distributed under the [Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/), which allows the use and redistribution citing the source and the original author for non-commercial purposes.

* Autor de correspondencia



Phosphorus kinetics in patients with chronic renal failure on hemodialysis

Abstract

Introduction: Hyperphosphatemia is one of the factors associated with high mortality in patients with chronic renal failure in dialysis programs. The objective of the present study was to perform intra- and post-dialysis serum phosphorus (P) kinetics, taking into account factors such as dialysis time and extracorporeal flow (Qs).

Methods: This cross-sectional study was conducted from September 2018 to January 2019. Baseline phosphate levels were analyzed, 60, 120, 180, and 240 intradialytic and 1 and 2 hours post-hemodialysis. A descriptive analysis is performed. Linear regression was performed to determine factors associated with post-hemodialysis serum P levels.

Results: 56 patients were included, 48 ± 13 years old, 30 women (53%), 46 with catheter (82%), 27 (48%) received treatment for 240 minutes. Qs of 300 ml/min in 11%, 350 ml/min in 65%, 400 ml/min in 26% of cases. pH 7.3 ± 0.6 , Hemoglobin 9.4 ± 1.6 gr/dL. Basal P, at 60, 120, 180 and 240 minutes, was 5.3, 3.5, 2.9, 2.7 and 2.6 mg/dl, respectively. The P at 60 and 120 minutes post HD were 3.5 and 3.75 mg/dl, respectively. Factors associated with the phosphorus level at 120 min post hemodialysis were hemoglobin $P=0.004$ Standardized beta coefficient (CBE) 0.247 (95% CI 0.04-0.219) and phosphorus removal at 240 min $P=0.001$, CBE=0.503, (CI95% 0.265-0.905).

Conclusions: The decrease in phosphate in the study group was 50.9%, with a rebound elevation at 2 hours of 21.82%. Hemoglobin above 11 gr/dl is a factor associated with hyperphosphataemia. The intensity of phosphorus removal at 240 minutes is associated with serum phosphorus levels.

Keywords:

MESH: Renal Dialysis; Hemodiafiltración; Phosphorus Metabolism Disorders; Hyperphosphatemia; Kinetics.

Aproximadamente más de 2 millones de personas padecen enfermedad renal crónica en etapa terminal (ESRD) en el mundo. El uso de la terapia de reemplazo renal con hemodiálisis de mantenimiento o diálisis peritoneal sigue en aumento y a pesar del continuo avance tecnológico, la tasa de mortalidad de estos pacientes sigue siendo inaceptablemente alta.

Existe una evidencia acumulada que sugiere que los trastornos del metabolismo mineral óseo contribuyen a la alta carga de muerte en pacientes con ESRD [1]. El fosfato sérico elevado es

un factor fundamental en la disregulación hormonal que subyace a desórdenes en el metabolismo óseo y mineral en la enfermedad renal crónica. Numerosos estudios observacionales han reportado una asociación independiente entre trastornos en el metabolismo mineral (hiperfosfatemia, hiperparatiroidismo, factor de crecimiento de fibroblástico 23 elevado, niveles deficientes de calcitriol) y el aumento de la morbilidad y mortalidad en personas con enfermedad renal crónica avanzada [2].



Si bien la mayoría de la atención se ha centrado en el uso de quelantes de fosfato no cálcicos, como sevelamer y lantano, la modificación de los regímenes de diálisis convencionales para mejorar la depuración de fosfato es un enfoque alternativo que permanece relativamente sin estudiar [3].

La guía de práctica clínica de la Sociedad Japonesa de Diálisis (JSDT) recomienda que los pacientes en diálisis mantengan los niveles de fosfato sérico dentro de 3.5-5.5 mg / dL, siendo la corrección de fósforo una prioridad, seguida la de calcio y luego la PTH [4].

Habitualmente se utiliza un triple enfoque para controlar el fósforo sérico en pacientes de diálisis: (1) eliminación de fósforo con diálisis, (2) restricción de la ingesta de fosfato en la dieta y (3) uso de aglutinantes de fosfato administrados por vía oral para limitar la absorción de los contenidos intestinales de fosfato ingerido.

Los niveles séricos de P en un tercio a la mitad de los pacientes en diálisis superan los 5.5 mg / dL, esto se atribuye: a que la eliminación de fosfato durante una sesión de hemodiálisis es de 800 mg a 1,000 mg, por lo tanto, un tratamiento trisemanal es insuficiente para eliminar la ingesta diaria recomendada de fósforo. Es extremadamente difícil limitar la ingesta de fosfato sin limitar la ingesta de proteína diaria recomendada para pacientes con hemodiálisis crónica de 1.1 a 1.3 g / kg de peso corporal. Otro factor es la falta de adherencia, los pacientes en diálisis deben tomar múltiples medicamentos, y los quelantes de fosfato aumentan la carga de píldoras del paciente, tienen un tamaño grande que son difíciles de deglutir, o si se mastica durante una comida puede distorsionar el sentido de gusto, con molestias gastrointestinales acompañantes que disminuyen el apetito. Otro factor es el uso de calcitriol, o sus análogos, que aumentan la absorción de fosfato del intestino delgado. El otro factor es la disminución de la concentración intestinal de fosfato libre, ya sea por restricción dietética o por uso de quelantes, que es un estímulo conocido para aumentar la absorción de fosfato en el intestino delgado [5].

Cuando se busca mejorar la eliminación de cualquier soluto durante la diálisis, varias estrategias son utilizadas: (a) aumento de la duración de la sesión, (b) aumento del flujo sanguíneo; (c) aumento del tamaño del dializador; y (d) mayor velocidad de flujo de dializado [2], sin embargo estas estrategias no están totalmente respaldadas: M. Albalade et al (2003) encontraron como principal factor determinante de la eliminación de fósforo a la concentración plasmática inicial, ninguno de los cambios efectuados en la composición del baño mejoraron la cantidad de P eliminado. En este estudio se realizó el aumento de superficie de un dializador de baja permeabilidad de 2 a 2.6 m², si bien mejora el Kt/V, pero no aumenta la eliminación de P y el aumento de Qd no indujo modificaciones [4].

P. Gallar et al. (2007) seleccionaron 108 pacientes en hemodiálisis. El 78% disponía de FAVI y 22% de catéter tunelizado. La membrana del dializador fue de polisulfona de alta permeabilidad en 31 (30%) y de permeabilidad media en 77 (70%). La superficie del dializador fue: 1.7 m²: 17 (16%); 1.8 m²: 77 (71%); 2.1 m²: 14 (13%). Flujo del líquido de diálisis: 500 ml/min: 55 pacientes; 700 ml/min: 53 pacientes. Duración de la sesión: 4.14 ± 0.41 (Rango 3.5-5 horas). El 85% se dializaban entre 4 y 5 horas. Concluyeron que en la depuración de fósforo en una sesión de hemodiálisis intervienen además del fósforo plasmático, la cantidad de sangre depurada que es en general superior cuando el acceso vascular es una FAVI. Otros factores como la duración de la sesión y la superficie del dializador, la ultrafiltración, el flujo del líquido de diálisis, la permeabilidad de la membrana o la técnica de hemodiafiltración on-line no incrementan de forma significativa la depuración de fósforo [6].

Tinelli et al. (2009) estudió tres estrategias para aumentar la eliminación de el fósforo en pacientes muy grandes: aumento de la sesión duración de 4.0 a 4.5 horas, aumentando el flujo de dializado, o el uso de dos dializadores en paralelo. De las tres estrategias, solo el uso de los dos dializadores en paralelo fue la única estrategia que tenía un clínicamente impacto significativo en la eliminación de fósforo [7]. Daugirdas (2012) analizó sesiones de hemodiálisis diarias cortas y hemodiálisis nocturna las cuales redujeron los niveles séricos de fósforo en 0.6 y 1.6 mg / dL respectivamente, en relación con 3 sesiones por semana. En el brazo de hemodiálisis cortas diarias, la HD intensiva redujo significativamente la dosis estimada de quelante de fosfato por día, mientras que en el brazo nocturno, la HD intensiva provocó la interrupción del aglutinante en el 75% de los pacientes. Sin embargo, la HD intensiva parece no tener efectos significativos sobre las concentraciones séricas de calcio y hormona paratiroidea. En conclusión, la HD intensiva, especialmente la HD nocturna, disminuye los niveles de fósforo sérico y disminuye la necesidad de quelantes de fosfato [8]. Jenan G, et al (2015) Comparando hemodiafiltración y HD, no observaron ninguna diferencia en los niveles séricos de fosfato [9].

Bertocchio JP, et al. (2016) concluyen que la modulación del bicarbonato sérico puede jugar un papel en el control del compartimento del fosfato, observando que en un intento por corregir la acidosis metabólica durante la hemodiálisis, el exceso alcalino puede perjudicar el aclaramiento de movilización de fosfato [10]. Por estos antecedentes el objetivo del presente estudio fue realizar una cinética de fósforo tomando en cuenta factores intradiálíticos y el rebote post-hemodiálisis en un grupo de pacientes con insuficiencia renal sometidos a tratamiento crónico.

Materiales y métodos

Diseño del estudio

El presente estudio es transversal, analítico.



Escenario

El estudio se realizó en la unidad de hemodiálisis del Hospital de Especialidades “Dr. Bernardo Sepúlveda”, Centro Médico Nacional Siglo XXI, México D.F. en pacientes con insuficiencia renal crónica en hemodiálisis durante el período de tiempo comprendido de septiembre del 2018 a enero del 2019.

Participantes

Se incluyeron pacientes mayores o iguales 18 años, con diagnóstico de Enfermedad Renal Crónica en estadio 5-D, en programa de hemodiálisis trisemanal, con una duración mínima de 9 horas por semana, con niveles de fósforo sérico >5.5 mg/dL y con accesos semipermanentes o permanentes funcionales. Se excluyeron pacientes que no aceptaron participar en el estudio, que cursaron con un proceso infeccioso agudo o crónico y que cursan con un proceso neoplásico activo. Adicionalmente se eliminaron casos con disfunción aguda del acceso vascular durante la toma de muestras, o pacientes que no concluyeron la toma sanguínea programada o revocaron el consentimiento informado.

Variables

Las variables fueron edad, sexo, tipo de acceso vascular, duración de la sesión, flujo extracorpóreo, pH, hemoglobina sérica, albúmina. Fósforo sérico basal, a los 60 minutos intradiálisis, a los 120 minutos intradiálisis, a los 180 minutos intradiálisis, a los 240 minutos intradiálisis, a los 60 minutos postdiálisis y a los 120 minutos post diálisis.

Fuentes de datos/mediciones

La fuente fue directa, se aplicó un cuestionario con las variables. El estudio analizó dos sesiones de hemodiálisis a mitad de semana, una de 180 y otra de 240 minutos. Se tomaron muestras de sangre de 2 ml a través de la línea arterial del angioacceso previo al inicio del tratamiento. A los 60, 120, 180 y 240 minutos de sesión se tomaron muestras de 2ml a través de la línea arterial del circuito extracorpóreo.

A la hora y 2 horas poshemodiálisis se tomó muestra de sangre de 2ml vía periférica. Todas las muestras se tomaron con jeringa estéril, se colocó en tubo de bioquímica con gel BD Vacutainer SST (R) REF368159, se centrifugó a 3500 revoluciones durante 15 minutos, almacenando muestra a 4 grados centígrados, siendo procesada en un periodo no mayor a 2 horas con el reactivo PHOS2 (R) y analizado mediante Roche/Hitachi COBAS c701/702.

Sesgos

Con el fin de evitar posibles sesgos de entrevistador, de información y de memoria, los datos fueron custodiados durante todo el tiempo por el investigador principal con una guía y registros aprobados en el protocolo de investigación. El sesgo de obser-

vación y selección fueron evitados con la aplicación de los criterios de selección de los participantes. Se consignaron todas las variables clínicas y paraclínicas del periodo ya comentado. Dos investigadores de manera independiente analizaron cada uno de los registros por duplicado y se consignaron las variables en la base de datos una vez verificada su concordancia.

Tamaño del estudio

La muestra fue no probabilística, tipo censo. Por conveniencia se seleccionó a todos los casos posibles.

Variables cuantitativas

Se utilizó estadística descriptiva inferencial. Se expresaron los resultados en escala en medias y desviación estándar. Los datos categóricos como el sexo se presentan en proporciones.

Análisis estadístico

Se realizó estadística descriptiva y los resultados se expresaron en mediana y rangos así como media y desviación estándar dependiendo de la distribución de los datos. Se realizó regresión lineal para determinar factores asociados a los niveles séricos de fósforo post hemodiálisis previa normalización de datos por transformación logarítmica. En el análisis de los valores de fósforo pre, intra y post-hemodiálisis se realizó análisis de U de Mann Withney. El paquete estadístico utilizado fue SPSS 24.0 para PC (IBM Corp. Released 2016. Armonk, NY.)

Resultados

Participantes

Ingresaron al estudio 56 pacientes. El diagrama de participantes se presenta en la figura 1.

Características de la población de estudio

Se incluyeron 56 pacientes cuyas características demográficas se muestran en la Tabla 1. La edad promedio fue de 48 ± 13 años, 54% de la población eran mujeres ($n=30$), con un índice de masa corporal (IMC) de 24.9 ± 3.5 kg/m². Del total de accesos vasculares, 82% eran semipermanentes y 18% fistulas. 51.7% recibieron sesión de HD con duración de 180 minutos y el resto sesión de 240 minutos. Los flujos sanguíneos variaron de acuerdo al acceso vascular, 11% se prescribió con flujos de 300, 63% con 350 y 26% con 400 ml/min. Los niveles de pH sérico al inicio de la sesión de HD fueron de 7.3 ± 0.6 , Hb de 9.4 ± 1.6 g/dl y albúmina de 3.7 ± 0.5 mg/dl.

Mediciones de pre-intra y post hemodiálisis

La mediana de los niveles de P al inicio de la sesión de HD fue de 5.3mg/dl con una disminución progresiva hasta un valor mínimo de 2.7 mg/dL en sesiones de 180 minutos y 2.6 mg/dL en

sesiones de 240 minutos. Se observó un rebote post hemodiálisis de una valor máximo de 3.75 mg/dL a las 2 horas (Figura 2 y tabla 2).

Regresión lineal múltiple de niveles de fósforo pre, intra y post-hemodiálisis

Los factores que influyen en los niveles de fósforo sanguíneo fueron los niveles de hemoglobina, el nivel de fósforo sérico, el flujo extracorpóreo (Tabla 2). Existió una asociación importante entre hiperfosforemia y aumento de la hemoglobina por encima de un valor de 11 gr/dL (Figura 3).

Sub-análisis

Los factores que influyeron en los niveles séricos de P a los 60 minutos de finalizada la sesión de HD fueron el Qs ($P=0.21$, IC 95% 0.001 - 0.016), los niveles de P basal ($P=0.000$, IC 95% 0.237 - 0.438), P 180 ($P=0.021$, IC 95% 0.084 - 0.94), los niveles de P240 ($p=0.00$, IC 95% 0.448 - 1.03) y los niveles de Hb ($P=0.032$ (IC 95% 0.09 - 0.19).

Los factores que influyeron en los niveles séricos de P a los 120 minutos de finalizada la sesión de HD fueron P basal ($P=0.00$, IC 95% 0.313- 0.505), P 180 ($P=0.002$, IC 95%), P 240 ($p=0.001$, IC 95% 0.265 - 0.905) y los niveles de Hb ($p=0.004$, IC 95% 0.041- 0.219 0.262- 1.021), P 240 ($P=0.001$, IC 95% 0.265 - 0.905) y los niveles de Hb ($P=0.004$, IC 95% 0.041- 0.219).

Los niveles de P al finalizar la sesión de HD de 180 minutos aumentaron al RP + 60 0.84mg/dl ($P=0.001$), y al RP + 120 0.34 ($P<0.0001$). Los niveles de P al finalizar la sesión de 240 minutos aumentaron al RP +60 0.72mg/dl ($P=0.001$), y al RP + 120 0.30mg/dl adicional ($P=0.001$).

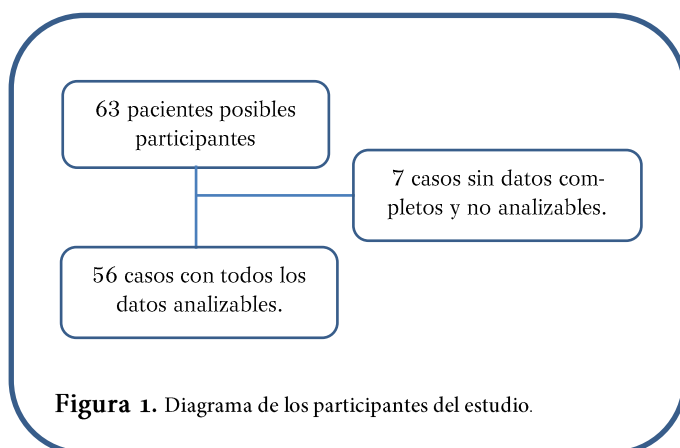


Figura 1. Diagrama de los participantes del estudio.

Tabla 1. Características demográficas de la población.

Indicación	Nº casos = 56
Edad (Años)	48 ± 13
IMC (kg/m ²)	24.9 ± 3.5
Sexo	
Hombre	26 (46%)
Mujer	30 (54%)
Acceso vascular	
Semipermanente	46 (82%)
FAVI	10 (18%)
Duración de la sesión	
180 minutos	29 (52%)
240 minutos	27 (48%)
Flujo extracorpóreo	
Qs 300 ml/min	6 (11%)
Qs 350 ml/min	35 (63%)
Qs 400 ml/min	15 (26%)
pH	7.3 ± 0.6
Hemoglobina (g/dL)	9.4 ± 1.6
Albúmina (g/dL)	3.7 ± 0.5

IMC: índice de masa corporal, FAVI: Fístula arterio venosa interna

Tabla 2. Concentraciones de fósforo pre, intra y post hemodiálisis.

Variable	Medidas de dispersión	% de disminución con respecto al basal
P basal (mg/dl)	5.3 (3.1-12.7)	
P60 (mg/dL)	3.5 (2.2-7.5)	-1.80 (33.96%)
P120 (mg/dL)	2.9 (1.8-5.7)	-2.40 (45.28%)
P180 (mg/dL)	2.7 (1.8-5.1)	-2.60 (49.05%)
P240 (mg/dL)	2.6 (1.6-3.9)	-2.70 (50.90%)
RP+60 (mg/dL)	3.5 (2.1-7.1)	-1.80 (33.96%)
RP+120 (mg/dL)	3.75 (2.3-8.0)	-1.55 (29.08%)

P60 fosfatemia a 60 minutos intradiálisis; P180: a 180 min intradiálisis. P240 a 240 minutos. RP+60 fosfatemia 60 min post hemodiálisis. RP+120: fosfatemia 120 minutos post hemodiálisis.

Tabla 3 Regresión lineal múltiple de los determinantes de los niveles de fósforo a los 120 minutos post hemodiálisis

Variable	Coefficiente Beta estandarizado	P	IC 95%
Edad	0.163	0.244	2.29 - 10.08
Sexo	0.022	0.161	0.822 - 1.44
Hemoglobina	0.247	*0.004	0.04 - 0.219
P basal	0.721	*<0.0001	0.313 - 0.505
Albumina	0.0017	0.196	0.281 - 0.342
IMC	0.112	0.417	-0.038 - 0.091
Qs	0.390	0.118	0.052 - 0.808
Duración de HD	0.023	0.145	0.075 - 14.08
P180	0.641	*0.002	0.262 - 1.021
P240	0.503	0.001	0.265 - 0.905
pH	0.042	0.247	2.29 - 10.08

P: Fósforo. IMC: índice de masa corporal. Qs: flujo extracorpóreo. HD: hemodiálisis. P180: fósforo a los 180 minutos de HD. P240: Fósforo a los 240 minutos de hemodiálisis.

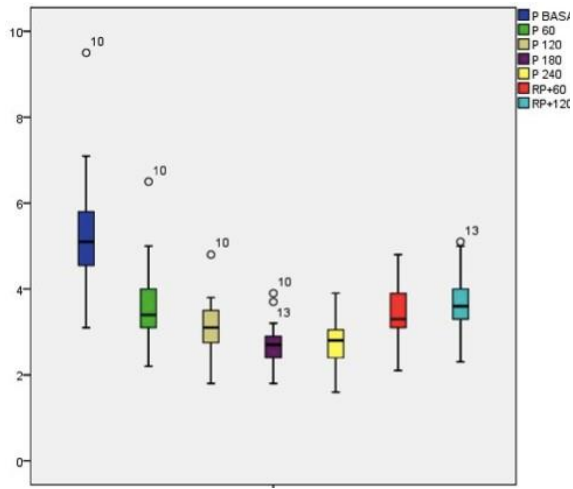


Figura 2. Cinética de fósforo intradiálisis y post-dialísis.

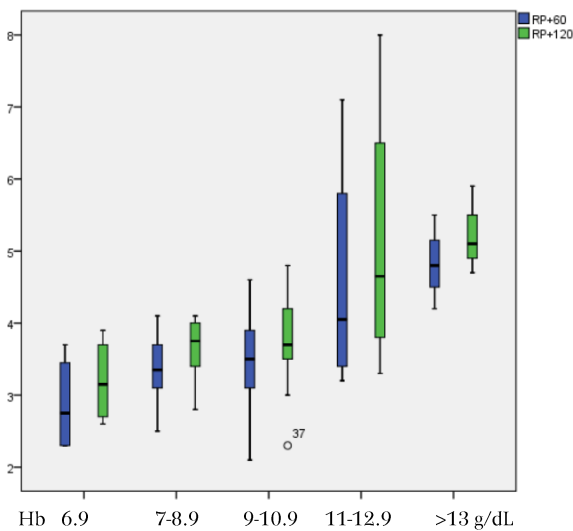


Figura 3. Se observa la asociación entre anemia e hipofosforemia e hiperfosforemia con valores de hemoglobina >11 gr/dL.

Discusión

En este estudio se describe la cinética de fósforo durante una sesión de hemodiálisis, el cual muestra una disminución de 33.8% con respecto al nivel basal durante la primera hora, con

una disminución progresiva de 44.4, 48.4 y 49.2% a la segunda, tercer y cuarta hora de sesión respectivamente. Al finalizar la sesión hubo un aumento del P basal de 66 y 71% en la primera y segunda hora respectivamente. Existe asociación entre los niveles de hemoglobina: la anemia está asociada a hipofosforemia y el nivel de hemoglobina >11 g/dl con hiperfosforemia. DeSoi et al [11] evaluó la cinética de P en HD de alto flujo encontrando una disminución precipitada de niveles de P en etapas tempranas, alcanzando el nivel más bajo a los 30-150 minutos, posteriormente con tasas de disminución menores hasta alcanzar una meseta y alcanzar un valor de P pre-hemodiálisis a las cuatro horas de finalizar la sesión. Leybold et al [12] describió una disminución significativa del P sérico durante los primeros 60 minutos de HD con posterior disminución en la concentración que continuo hasta finalizar el tratamiento. La cinética de P se determinó por los niveles pre y post-hemodiálisis, flujo sanguíneo, hemoglobina y albúmina.

Encontramos correlación significativa negativa entre los niveles de P pre-hemodiálisis y los niveles de P al finalizar la sesión, con una disminución mayor en las sesiones de 240 minutos. Kjellstrand et al [13] estudiaron la dinámica de P considerando las siguientes variables: número de sesiones, duración, flujos sanguíneos, flujos de dializado y tipo de membrana con medidas séricas pre y post-hemodiálisis, encontrando una correlación negativa entre el P removido y las concentraciones pre-dialísis ($P<0.0001$). Se observa que los niveles más altos de Hb se asociaron a niveles séricos de P más elevados intra y post-hemodiálisis, posiblemente en relación a que los niveles de P intradiálisis se mantienen bajos y que el P es removido casi exclusivamente desde el plasma en su paso por el dializador, esto reduce el aclaramiento de P con respecto a la urea (que se depura de plasma y células sanguíneas) y este efecto se ve potenciado por los niveles de hematocrito como lo describe Daugirdas et al [2].

Descombes et al [14] realizó estudios de balance y equilibrio de masa in vivo e in vitro para examinar la cinética de difusión de P donde demostraron que el aclaramiento del dializado es muy cercano al dializado del plasma. Los niveles de P post-hemodiálisis a los 60 y 120 minutos, estuvieron determinados por los niveles de P basal y post-hemodiálisis inmediato. Agar et al [15] analizó los niveles de P a los 60 minutos post-hemodiálisis en sesiones de 2 y 4 horas, no encontrando diferencia en el porcentaje de P post-dialítico ($P<0.001$). Leybold et al [16] propone que la movilización de P desde los tejidos es proporcional a la diferencia entre los niveles séricos predialísis y las concentraciones finales.

En relación al Qs prescrito no observamos diferencias estadísticamente significativas en la reducción de P. Leclerc M, et al [17] realizaron un estudio prospectivo donde evaluaron el impacto de la tasa de Qs en la dosis de diálisis con flujos de diali-



zado bajo, encontrado que el porcentaje de reducción de P aumenta de 0.46 ± 0.1 a 0.49 ± 0.07 , al incrementar el Qs de 300 a 450 mL/min respectivamente. El incremento del flujo de bomba de sangre 1 mL/min involucra un aumento de 0.00017% de reducción ($P = 0.28$, 95%, IC $-0.0001 - 0.0005$). Aunque algunos reportes indican que la extensión del tiempo de diálisis semanal mejora la remoción de P e incluso disminuye la necesidad de uso de quelantes de P en el presente estudio no se encontró correlación estadísticamente significativa respecto a sesiones de 180 o 240 minutos, situación contraria a lo descrito por Toneli et al, [7] en sesiones de HD de 4.5 horas con respecto a sesión de 4 horas ($P=0.04$) y Eloit et al [18] evidenciaron un aclaramiento mayor en sesiones de HD de 4, 6 y 8 horas ($P<0.0001$).

Se identificaron niveles de P sérico intradiálisis constantes, independiente de la duración de la HD, como lo reportado por Spalding et al [19], quienes observaron que los niveles de P sérico no disminuían a niveles críticamente bajos probablemente asociado al transporte de P desde sitios de depósito de acuerdo a su modelo cinético de P de cuatro compartimentos. Con respecto a los niveles de albúmina evidenciamos niveles de P post-hemodiálisis más altos en sesión de 240min (2.57 vs 3.15mg/dl) con niveles de albúmina por debajo de 3.5 y por arriba de 4mg respectivamente, esto probablemente en relación a que el P se mantiene unido a proteínas hasta en un 10% y el resto es ultrafiltrable [20].

Los resultados de este estudio tuvieron como limitación el número reducido de pacientes, la falta de control en los cambios séricos de pH, bicarbonato, temperatura, que podrían modificar el movimiento intracelular de P, así como la falta de control del uso de quelantes y apego dietético que pudieran influir en la cinética. Se requieren de nuevas evaluaciones que permitan estandarizar un modelo que explique la cinética de P durante la terapia hemodialítica.

Conclusiones

La cinética de fósforo en hemodiálisis muestra que el descenso más significativo de este ión es en la primera hora de sesión y durante la primera hora post-hemodiálisis, como factores predictivos como era de esperarse los niveles séricos de fósforo basales (pre-hemodiálisis), aunado a otros factores que incluyen: niveles séricos de P post-hemodiálisis, hemoglobina y albúmina.

Referencias

1. Hou Y, Li X, Sun L, Qu Z, Jiang L, Du Y. Phosphorus and mortality risk in end-stage renal disease: A meta-analysis. *Clin Chim Acta*. 2017 Nov;474:108-113. doi: 10.1016/j.cca.2017.09.005. Epub 2017 Sep 10. PMID: [28903022](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28903022/).
2. Daugirdas JT. Removal of Phosphorus by Hemodialysis. *Semin Dial*. 2015 Nov-Dec;28(6):620-3. doi: 10.1111/sdi.12439. Epub 2015 Sep 11. PMID: [26358370](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26358370/).
3. Thompson S, Manns B, Lloyd A, Hemmelgarn B, MacRae J, Klarenbach S, Unsworth L, Courtney M, Tonelli M. Impact of

Abreviaturas

P: fósforo.
HD: hemodiálisis.
Qs: flujo extracorpóreo.

Información suplementaria

Materiales suplementarios no han sido declarados.

Agradecimientos

No aplica.

Contribuciones de los autores

Juan Manuel Duran: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Adquisición de fondos, Investigación, Metodología, Administración de proyecto, Recursos, Software, Escritura – borrador original.

María Inés Gil Arredondo: Conceptualización, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción: revisión y edición.

Pedro Trinidad Ramos: Conceptualización, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción: revisión y edición.

Todos los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Financiamiento

Los autores proveyeron los gastos de la investigación. Los estudios de laboratorio y mediciones de fósforo sérico fueron realizados con costo institucional luego de la aprobación del protocolo, no fueron gastos sobreañadidos a los pacientes.

Disponibilidad de datos o materiales

Los conjuntos de datos generados y analizados durante el estudio actual no están disponibles públicamente debido a la confidencialidad de los participantes, pero están disponibles a través del autor correspondiente a pedido académico razonable.

Declaraciones

Aprobación del comité de ética y consentimiento para participar

Este estudio fue aprobado por el comité local de investigación en salud 3601 con número de registro 17CI09015034 ante COFEPRIS y número de registro ante CONBIOÉTICA 09 CEI 023 2017082. La investigación clínica fue dirigida de acuerdo a los principios expresados en la declaración de Helsinki (64ª Asamblea General, Fortaleza, Brasil, octubre 2013).

Consentimiento para publicación

No aplica cuando no se publican imágenes o fotografías del examen físico o radiografías/tomografías/resonancias de pacientes.

Conflictos de interés

Los autores reportan no tener conflictos de interés.



- using two dialyzers in parallel on phosphate clearance in hemodialysis patients: a randomized trial. *Nephrol Dial Transplant*. 2017 May 1;32(5):855-861. doi: 10.1093/ndt/gfw085. PMID: [27190374](#).
4. Albalade M, Fernández C, López MD, Gago C, Jarraiz A, Pulido A, et al. Se puede aumentar la eliminación de fósforo con la hemodiálisis convencional? [Can we increase phosphate removal with conventional hemodialysis?]. *Nefrología*. 2003 Nov-Dec;23(6):520-7. Spanish. PMID: [15002787](#).
 5. Suki WN, Moore LW. Phosphorus Regulation in Chronic Kidney Disease. *Methodist Debakey Cardiovasc J*. 2016 Oct-Dec;12(4 Suppl):6-9. doi: 10.14797/mdcj-12-4s1-6. PMID: [28298956](#); PMCID: PMC5347182.
 6. Gallar P, Ortiz M, Ortega O, Rodríguez I, Seijas V, Carreño A, Olié A, Vigil A. Factores en la eliminación de fósforo en hemodiálisis [Factors which influence phosphorus removal in hemodialysis]. *Nefrología*. 2007;27(1):46-52. Spanish. PMID: [17402879](#).
 7. Tonelli M, Wang W, Hemmelgarn B, Lloyd A, Manns B; Alberta Kidney Disease Network. Phosphate removal with several thrice-weekly dialysis methods in overweight hemodialysis patients. *Am J Kidney Dis*. 2009 Dec;54(6):1108-15. doi: 10.1053/j.ajkd.2009.05.018. Epub 2009 Jul 19. Erratum in: *Am J Kidney Dis*. 2012 May;59(5):743-4. PMID: [19619920](#).
 8. Daugirdas JT, Chertow GM, Larive B, Pierratos A, Greene T, Ayus JC, et al. Frequent Hemodialysis Network (FHN) Trial Group. Effects of frequent hemodialysis on measures of CKD mineral and bone disorder. *J Am Soc Nephrol*. 2012 Apr;23(4):727-38. doi: 10.1681/ASN.2011070688. Epub 2012 Feb 23. PMID: [22362907](#); PMCID: PMC3312501.
 9. Jean G, Hurot JM, Deleaval P, Mayor B, Lorriaux C. Online-haemodiafiltration vs. conventional haemodialysis: a cross-over study. *BMC Nephrol*. 2015 May 9;16:70. doi: 10.1186/s12882-015-0062-0. PMID: [25956949](#); PMCID: PMC4429419.
 10. Bertocchio JP, Mohajer M, Gaha K, Ramont L, Maheut H, Rieu P. Modifications to bicarbonate conductivity: A way to increase phosphate removal during hemodialysis? Proof of concept. *Hemodial Int*. 2016 Oct;20(4):601-609. doi: 10.1111/hdi.12423. Epub 2016 Apr 6. PMID: [27060343](#).
 11. DeSoi CA, Umans JG. Phosphate kinetics during high-flux hemodialysis. *J Am Soc Nephrol*. 1993 Nov;4(5):1214-8. doi: 10.1681/ASN.V451214. PMID: [8305649](#).
 12. Leypoldt JK, Agar BU, Akonur A, Hutchcraft AM, Story KO, Culleton BF. Determinants of phosphorus mobilization during hemodialysis. *Kidney Int*. 2013 Oct;84(4):841-8. doi: 10.1038/ki.2013.205. Epub 2013 May 29. PMID: [23715125](#).
 13. Kjellstrand CM, Ing TS, Kjellstrand PT, Odar-Cederlof I, Lagg CR. Phosphorus dynamics during hemodialysis. *Hemodial Int*. 2011 Apr;15(2):226-33. doi: 10.1111/j.1542-4758.2011.00538.x. Epub 2011 Feb 25. PMID: 21352467.
 14. Descombes E, Jutzet A, Perriard F, Fellay G. Diffusion kinetics in blood during haemodialysis and in vivo clearance of inorganic phosphate. *Blood Purif*. 2001;19(1):4-9. doi: 10.1159/000014470. PMID: [11114570](#).
 15. Agar BU, Akonur A, Lo YC, Cheung AK, Leypoldt JK. Kinetic model of phosphorus mobilization during and after short and conventional hemodialysis. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2011 Dec;6(12):2854-60. doi: 10.2215/CJN.03860411. Epub 2011 Oct 27. PMID: [22034502](#); PMCID: PMC3255375.
 16. Leypoldt JK, Agar BU, Cheung AK, Bernardo AA. A Pseudo-One Compartment Model of Phosphorus Kinetics During Hemodialysis: Further Supporting Evidence. *Artif Organs*. 2017 Nov;41(11):1043-1048. doi: 10.1111/aor.12897. Epub 2017 May 26. PMID: [29148130](#).
 17. Leclerc M, Bechade C, Henri P, Zagdoun E, Cardineau E, Lobbedez T, Ficheux M. Does the Blood Pump Flow Rate have an Impact on the Dialysis Dose During Low Dialysate Flow Rate Hemodialysis? *Blood Purif*. 2018;46(4):279-285. doi: 10.1159/000486843. Epub 2018 Jul 26. PMID: [30048973](#).
 18. Eloit S, Van Biesen W, Dhondt A, Van de Wyneke H, Glorieux G, Verdonck P, Vanholder R. Impact of hemodialysis duration on the removal of uremic retention solutes. *Kidney Int*. 2008 Mar;73(6):765-70. doi: 10.1038/sj.ki.5002750. Epub 2007 Dec 26. PMID: [18160958](#).
 19. Spalding EM, Chamney PW, Farrington K. Phosphate kinetics during hemodialysis: Evidence for biphasic regulation. *Kidney Int*. 2002 Feb;61(2):655-67. doi: 10.1046/j.1523-1755.2002.00146.x. PMID: [11849409](#).
 20. Carral F, Oliveira G, Aguilar D. Homeostasis del calcio, fósforo y magnesio. *Med Integr* 2000 Oct;36(7): 243-276. LILACS: [31663](#)

DOI: Digital Object Identifier. PMID: PubMed Identifier.

Nota del Editor

La REV SEN se mantiene neutral con respecto a los reclamos jurisdiccionales sobre mapas publicados y afiliaciones institucionales.