

Original

Valoración del diámetro interno del dializador en hemodiafiltración on-line

Francisco Maduell^{a,*}, Raquel Ojeda^a, Lara Belmar^a, Paula Munguía^a, Cristina Sango^a, Ana Isabel Martínez-Díaz^a, Marta Arias-Guillén^a, Manel Vera^a, Néstor Fontseré^a, Miquel Gómez^a, Lida Rodas^a y Nayra Rico^b

^a Servicio de Nefrología, Hospital Clínic, Barcelona, España

^b Servicio de Bioquímica, Hospital Clínic, Barcelona, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 8 de febrero de 2017

Aceptado el 16 de marzo de 2017

Palabras clave:

Dializador

Diámetro interno

Hemodiafiltración on-line

Volumen convectivo

R E S U M E N

Introducción: Se ha asociado la hemodiafiltración on-line (HDF-OL) a un aumento de la supervivencia. Hasta el momento no está bien establecida la influencia del diámetro interno de las fibras capilares del dializador sobre la capacidad convectiva. El objetivo del estudio fue valorar el efecto del aumento del diámetro interno del dializador sobre el volumen convectivo y la capacidad depurativa.

Material y métodos: Se incluyeron 16 pacientes en HDF-OL posdilucional con reposición automática. Cada paciente recibió 4 sesiones, en las que se varió el diámetro interno, 185 μm (FX60 Cordiax y FX80 Cordiax) versus 210 μm (FX600 Cordiax y FX800 Cordiax). En cada sesión se determinaron diferentes solutos al inicio y al final de la diálisis.

Resultados: El incremento de diámetro interno entre FX60 vs. FX600 y FX80 vs. FX800 no reflejó diferencias en el volumen convectivo: $32,3 \pm 3,1$ vs. $31,8 \pm 3,6$ y $33,7 \pm 4,3$ vs. $33,5 \pm 3,8$ L/sesión, respectivamente. Los porcentajes de reducción tampoco mostraron diferencias: urea $83,7 \pm 4,5$ vs. $84,1 \pm 3,4$ para FX60 y FX600 y $82,7 \pm 4,1$ vs. $83,6 \pm 3,8$ para FX80 vs. FX800; creatinina similar $78,2 \pm 5,6$ vs. $77,8 \pm 4,6$ y $77,1 \pm 5,4$ vs. $78,1 \pm 4,9$; β_2 -microglobulina $82,2 \pm 4,3$ vs. $82,9 \pm 4,2$ y $82,9 \pm 4,7$ vs. $84,0 \pm 3,8$; mioglobina $71,0 \pm 10$, vs. $70,2 \pm 9$ y $72,8 \pm 11$ vs. $75,0 \pm 10$; prolactina $70,4 \pm 9$ vs. $68,1 \pm 9$ y $72,2 \pm 10$ vs. $73,4 \pm 8,2$; y α_1 -microglobulina $22,9 \pm 10$ vs. $21,6 \pm 10$ y $26,5 \pm 12$ vs. $28,8 \pm 11$, respectivamente.

Conclusión: El incremento del diámetro interno de las fibras capilares no ha significado una mayor eficacia en el volumen convectivo ni en la capacidad depurativa.

© 2017 Sociedad Española de Nefrología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: fmaduell@clinic.ub.es (F. Maduell).

<https://doi.org/10.1016/j.nefro.2017.03.013>

0211-6995/© 2017 Sociedad Española de Nefrología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Evaluation of the dialyser inner diameter in online haemodiafiltration

A B S T R A C T

Keywords:

Dialyser
Inner diameter
Online haemodiafiltration
Convective volume

Introduction: Online haemodiafiltration (OL-HDF) has been associated with increased survival. To date, the influence of the inner diameter of the hollow fibres of the dialyser on convective volume has not been well established. The objective of the study was to evaluate the effect of increasing the inner diameter of the dialyser on the convective volume and removal capacity.

Material and methods: We included 16 patients in postdilutional OL-HDF with autosubstitution. Each patient was analysed in 4 sessions in which the inner diameter varied; 185 μm (FX60 Cordiax and FX80 Cordiax) versus 210 μm (FX600 Cordiax and FX800 Cordiax). Different solutes were measured at the beginning and end of each dialysis session.

Results: No differences in the convective volume were found with an increased inner diameter: 32.3 ± 3.1 vs. 31.8 ± 3.6 l/session (FX60 vs. FX600) and 33.7 ± 4.3 vs. 33.5 ± 3.8 l/session (FX80 vs. FX800). The reduction percentages also did not differ: urea 83.7 ± 4.5 vs. 84.1 ± 3.4 for FX60 and FX600, and 82.7 ± 4.1 vs. 83.6 ± 3.8 for FX80 vs. FX800; creatinine similar 78.2 ± 5.6 vs. 77.8 ± 4.6 y 77.1 ± 5.4 vs. 78.1 ± 4.9 ; β_2 -microglobulin 82.2 ± 4.3 vs. 82.9 ± 4.2 , and 82.9 ± 4.7 vs. 84.0 ± 3.8 ; myoglobin 71.0 ± 10 vs. 70.2 ± 9 and 72.8 ± 11 vs. 75.0 ± 10 ; prolactin 70.4 ± 9 vs. 68.1 ± 9 , and 72.2 ± 10 vs. 73.4 ± 8.2 ; and α_1 -microglobulin 22.9 ± 10 vs. 21.6 ± 10 , and 26.5 ± 12 vs. 28.8 ± 11 , respectively.

Conclusion: The increase in the inner diameter of the hollow fibres did not result in improved convective volume and removal capacity.

© 2017 Sociedad Española de Nefrología. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

La hemodiafiltración *on-line* (HDF-OL) con alto volumen de reposición combina el tratamiento difusivo con el convectivo, permite un mayor aclaramiento de solutos de mediano y alto peso molecular y mejora la tolerancia hemodinámica intradiálisis^{1,2}. El estudio ESHOL³ demostró que la HDF-OL posdilucional reduce la mortalidad por cualquier causa respecto a la hemodiálisis (HD) en pacientes prevalentes en HD. Posteriormente, la inclusión de los principales ensayos clínicos aleatorizados en un *pooling project* con más de 2.700 pacientes⁴ y varios metaanálisis^{5,6} ha confirmado la disminución de la mortalidad global y cardiovascular. En un análisis *post hoc*, los 3 ensayos clínicos que tenían la mortalidad como variable principal^{3,7,8} observaron una asociación entre el volumen convectivo y la supervivencia. A raíz de estos resultados se ha recomendado conseguir un volumen de sustitución superior a 21 L por sesión⁹.

Los principales factores limitantes en la consecución de altos volúmenes convectivos son el flujo de sangre (Qb), el tiempo y el dializador. La industria farmacéutica ha mejorado los dializadores optimizando el tamaño del poro para conseguir mayores volúmenes de sustitución y mayor depuración^{10,11}. Sin embargo, la cuestión del diámetro interno de las fibras capilares del dializador resulta contradictoria en la literatura. En el año 2000, Ronco et al.¹², en un estudio *in vitro* e *in vivo* en HD, mostraron que la reducción del diámetro interno se asoció con un aumento de la filtración proximal y retrofiltración distal, lo que mejoró, a través de un mayor volumen convectivo interno, la depuración de grandes moléculas.

Recomendaron reducir el diámetro interno de 200 μm (estándar en aquellos años) a uno inferior, siempre que se disponga de un líquido de diálisis ultrapuro. Sin embargo, con el progresivo crecimiento de la HDF-OL, la industria farmacéutica ha ofrecido nuevamente dializadores con un diámetro interno superior, probablemente para reducir la presión de entrada de sangre al dializador, ya que, en algunos monitores, condicionaba la presión transmembrana. Con el fin de clarificar este aspecto, el objetivo del estudio fue valorar el efecto del aumento del diámetro interno de las fibras capilares sobre el volumen convectivo y la capacidad depurativa.

Material y métodos

Estudio monocéntrico en pacientes estables en HDF-OL. Se incluyeron 16 pacientes (12 varones y 4 mujeres) con una edad media de $64,1 \pm 13$ años (intervalo 42-91 años) que se encontraban en programa de HD con un promedio de 64 ± 67 meses (intervalo 5-251 meses). La etiología de la insuficiencia renal crónica fue 4 glomerulonefritis crónicas (10,8%), 3 nefropatías diabéticas (8,1%), 2 poliquistosis (5,4%), 2 nefropatías vasculares (5,4%), 3 por causas urológicas (8,1%), una enfermedad sistémica (2,7%) y una de etiología no filiada (2,7%). Todos los pacientes se dializaron a través de fístula arteriovenosa excepto uno, que se dializó a través de fístula protésica. La anticoagulación utilizada fue heparina de bajo peso molecular (tinzaparina) en el 50%, heparina sódica en el 25% de los pacientes y el 25% restante se dializaron sin heparina.

Cada paciente fue analizado en 4 sesiones, siempre a mitad de semana, en las que se varió el diámetro interno de las fibras

Tabla 1 – Características de los dializadores

	FX CorDiax 60	FX CorDiax 600	FX CorDiax 80	FX CorDiax 800
Membrana superficie m ²	Helixona® plus 1,4	Helixona® plus 1,6	Helixona® plus 1,8	Helixona® plus 2,0
Grosor de pared (μm)	35	35	35	35
Diámetro interno (μm)	185	210	185	210
KoA urea (ml/min)	1164	1148	1429	1365
CUF (ml/h/mmHg)	47	46	64	62
CUF (ml/h/mmHg/m ²)	33,6	28,8	35,6	31,0
Esterilización	Vapor	Vapor	Vapor	Vapor
Coefficiente de cribado β ₂ -microglobulina	0,9	0,9	0,9	0,9
Coefficiente de cribado mioglobina	0,5	0,5	0,5	0,5
Coefficiente de cribado albúmina	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

CUF: coeficiente de ultrafiltración; KoA: coeficiente de transferencia de masas.

capilares del dializador, 185 μm (FX60 Cordiax y FX80 Cordiax) versus 210 μm (FX600 Cordiax y FX800 Cordiax). Las características completas de los dializadores están recogidas en la [tabla 1](#). Se mantuvieron constantes en cada una de las sesiones estudiadas los demás parámetros dialíticos: membrana de helixona plus; tiempo de diálisis, 293 ± 17 min (240-300 min); flujo del baño de diálisis (Qd) 400 ml/min y monitor 5008 Cordiax, HDF-OL posdilucional con sistema de autosustitución. Se aleatorizó el orden de las sesiones. Los parámetros de diálisis recogidos en cada sesión fueron: tiempo programado, duración real, dializador, Qb, Qd, calibre de las agujas, Kt medido automáticamente por dialisancia iónica, índice de recirculación medido por el módulo de temperatura, presión arterial, presión venosa, presión transmembrana, hematocrito inicial y final, ultrafiltración, volumen de sangre procesada y volumen de sustitución.

Análiticamente se determinaron las concentraciones de urea (60 Da), creatinina (113 Da), β₂-microglobulina (11.800 Da), mioglobina (17.200 Da), prolactina (23.000 Da), α₁-microglobulina (33.000 Da) y α₁-glicoproteína ácida (41.000 Da) y albúmina (66.000 Da) en suero al inicio y al final de cada sesión para calcular el porcentaje de reducción de estos solutos. La concentración final de β₂-microglobulina, mioglobina, prolactina, α₁-microglobulina, α₁-glicoproteína y albúmina se corrigieron para la hemoconcentración y el volumen de distribución (aproximadamente el volumen extracelular) según Bergström y Wehle¹³. Las concentraciones de urea, creatinina y albúmina se midieron por espectrometría de absorción molecular en el analizador ADVIA 2400 (Chemistry System de Siemens Healthineers, Tarrytown, EE. UU.). La β₂-microglobulina y la α₁-glicoproteína ácida se midieron por inmunonefelometría con el analizador Dimension Vista (Siemens Healthineers) y la α₁-microglobulina por inmunonefelometría por el analizador BNII (Siemens Healthineers). Las concentraciones de mioglobina se midieron por enzimoanálisis de tipo «sandwich» con el analizador Dimension EXL (Siemens Healthineers). Las concentraciones de prolactina se midieron por enzimoanálisis de tipo «sandwich» con el analizador ADVIA Centaur (Siemens Healthineers).

En todos los casos se utilizaron reactivos dedicados. Los valores de referencia de nuestro laboratorio son 10-50 mg/dl para la urea, 0,3-1,3 mg/dl para la creatinina, 0,1-2,3 mg/L para la β₂-microglobulina, 0-100 ng/ml para la mioglobina,

2,8-15 ng/ml para la prolactina, 5-25 mg/L para α₁-microglobulina, 0,38-1,18 g/L para la α₁-glicoproteína ácida y 34-48 g/l para la albúmina.

Asimismo, se recogió una parte proporcional del líquido de diálisis para cuantificar la pérdida de solutos y también de albúmina. La urea, creatinina y prolactina se midieron igual que en suero. Sin embargo, como las concentraciones de β₂-microglobulina y de albúmina eran muy bajas, fue necesario analizar dichas magnitudes con la misma tecnología, pero con los métodos de determinación en orina para aumentar la sensibilidad analítica. La β₂-microglobulina se midió con un mejor índice de detección: 0,004625 mg/l.

Los resultados se expresan como la media aritmética ± desviación típica. Para el análisis de la significación estadística de parámetros cuantitativos se ha empleado el test de la t de Student para datos pareados y ANOVA para datos repetidos. Se ha considerado estadísticamente significativa una p < 0,05.

Resultados

Todas las sesiones de diálisis se realizaron sin incidencias clínicas destacables. No hubo ninguna sesión con coagulación de las líneas o del dializador. No hubo diferencias en los parámetros de diálisis, Qb, sangre total procesada por el monitor, Qd, duración real de las sesiones, peso inicial, peso final, ganancia de peso, mediciones por el propio monitor de diálisis del hematocrito inicial y final, tamaño de las agujas, recirculación del acceso vascular, presión arterial, presión venosa o presión transmembrana ([tabla 2](#)).

El incremento de diámetro interno en las 2 series de comparaciones no reflejó incremento en el volumen de reposición (29,61 ± 3,5 con FX60 Cordiax vs. 29,07 ± 3,8 L/sesión con FX600 Cordiax y 30,99 ± 4,5 con FX80 Cordiax vs. 30,83 ± 4,1 L/sesión con FX800 Cordiax) ni tampoco, lógicamente en el volumen convectivo total ([fig. 1](#)).

El incremento del diámetro interno de las fibras del dializador no mostró diferencias significativas de la dosis de diálisis, expresada como Kt (71,4 ± 5,7 con FX60 Cordiax vs. 73,4 ± 5,9 L con FX600 Cordiax y 72,4 ± 7,0 con FX80 Cordiax vs. 74,4 ± 7,9 L con FX800 Cordiax) ([fig. 2](#)), ni tampoco como porcentaje de reducción de urea ([tabla 3](#)).

Tabla 2 – Comparación de los parámetros de diálisis en las 4 sesiones

	FX CorDiax 60	FX CorDiax 600	FX CorDiax 80	FX CorDiax 800	p
Qd (ml/min)	400	400	400	400	NS
Qb (ml/min)	453 ± 34	453 ± 34	453 ± 34	453 ± 34	NS
Sangre depurada (L)	127,9 ± 13,7	128,1 ± 13,6	127,4 ± 13,5	127,9 ± 13,1	NS
Agujas	15 G	15 G	15 G	15 G	NS
Recirculación (%)	13,3 ± 2,9	14,4 ± 3,5	14,2 ± 3,3	14,2 ± 3,1	NS
Td real (min)	283,4 ± 17,0	283,4 ± 17,0	282,8 ± 17,0	282,9 ± 17,0	NS
Peso inicial (kg)	72,6 ± 18,0	72,7 ± 18,0	72,8 ± 18,3	72,6 ± 18,1	NS
Peso final (kg)	69,9 ± 17,5	70,0 ± 17,7	70,1 ± 17,7	69,9 ± 17,6	NS
Ganancia de peso (kg)	2,7 ± 1,0	2,7 ± 0,9	2,8 ± 1,0	2,7 ± 0,9	NS
Hematocrito inicial (%)	29,2 ± 4,3	28,9 ± 4,6	29,6 ± 4,3	29,1 ± 4,3	NS
Hematocrito final (%)	36,2 ± 5,6	35,9 ± 6,5	36,4 ± 5,4	36,1 ± 5,5	NS
Presión arterial (mmHg)	-233 ± 18	-232 ± 21	-234 ± 18	-228 ± 18	NS
Presión venosa (mmHg)	234 ± 26	235 ± 23	223 ± 28	226 ± 25	NS
Presión transmembrana (mmHg)	183 ± 23	192 ± 20	185 ± 25	191 ± 20	NS

NS: no significativo; Qb: flujo de sangre; Qd: flujo de líquido de diálisis; Td: tiempo de diálisis.

Tabla 3 – Porcentaje de reducción de solutos en hemodiálisis

	FX CorDiax 60	FX CorDiax 600	p	FX CorDiax 80	FX CorDiax 800	p
Urea (60 Da)	83,7 ± 4,5	84,1 ± 3,4	NS	82,7 ± 4,1	83,6 ± 3,8	NS
Creatinina (113 Da)	78,2 ± 5,6	77,8 ± 4,6	NS	77,1 ± 5,4	78,1 ± 4,9	NS
β ₂ -microglobulina (11.818 Da)	82,2 ± 4,3	82,9 ± 4,2	NS	82,9 ± 4,7	84,0 ± 3,8	NS
Mioglobina (17.200 Da)	71,0 ± 10,0	70,2 ± 9,3	NS	72,8 ± 11,0	75,0 ± 10,0	NS
Prolactina (23.000 Da)	70,4 ± 9,3	68,1 ± 8,6	NS	72,3 ± 10,0	73,4 ± 8,2	NS
α ₁ -microglobulina (33.000 Da)	22,9 ± 10,0	21,6 ± 9,8	NS	26,5 ± 12,0	28,8 ± 11,0	NS
α ₁ glicoproteína ácida (41.000 Da)	15,6 ± 8,2	11,5 ± 5,8	NS	17,3 ± 9,3	15,4 ± 7,1	NS
Albúmina (66.000 Da)	9,2 ± 6,7	8,9 ± 4,9	NS	10,1 ± 5,8	7,8 ± 5,2	NS
Pérdida de albúmina en el dializado (g)	2,7 ± 1,8	1,6 ± 0,9	NS	3,2 ± 1,9	3,0 ± 1,9	NS

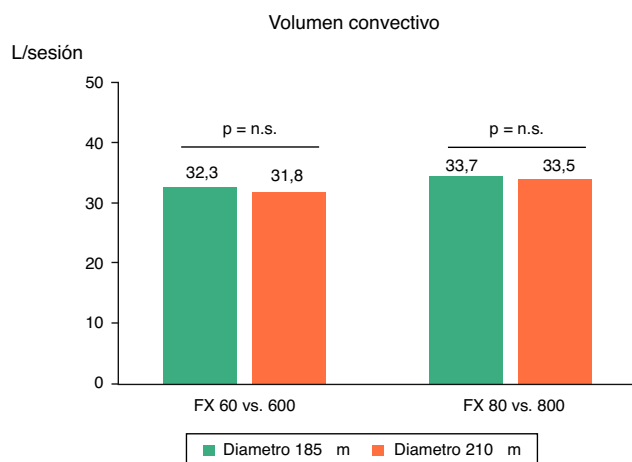


Figura 1 – Variaciones en el volumen convectivo en hemodiafiltración on line según las situaciones de estudio (n = 16) ANOVA para datos repetidos.

El porcentaje de reducción del resto de los solutos (creatinina, β₂-microglobulina, mioglobina, prolactina, α₁-microglobulina y α₁-glicoproteína ácida) se recoge en la [tabla 3](#). Se puede observar que no hay diferencias significativas en estos porcentajes de reducción de solutos entre la variación del diámetro interno ni tampoco entre los 2 tipos de dializadores comparados. Tampoco se observaron diferencias

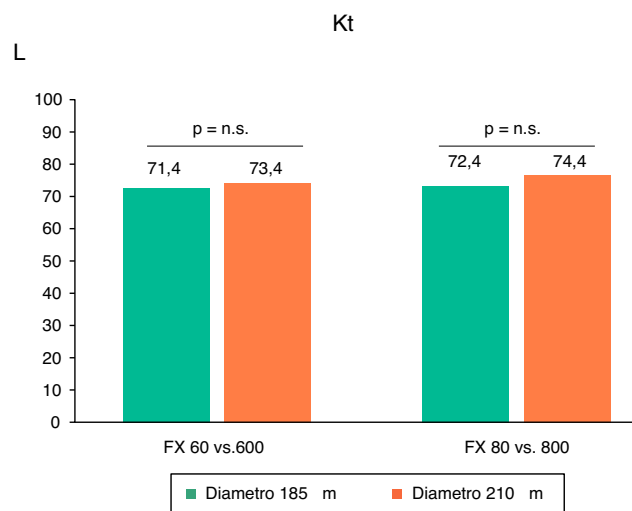


Figura 2 – Variaciones en la dosis de diálisis, medidas por dialisancia iónica, expresada como litros de Kt en las diferentes situaciones de estudio (n = 16) ANOVA para datos repetidos.

significativas en la albúmina eliminada en el líquido de diálisis en ninguna de las 2 series de comparaciones: 2,7 ± 1,8 g para FX60 Cordiax vs. 1,6 ± 0,9 g con FX600 Cordiax y 3,2 ± 1,9 g con FX80 Cordiax vs. 3,0 ± 1,9 g con FX800 Cordiax.

Discusión

El presente estudio muestra que, en HDF-OL posdilucional, la comparación de 2 series de dializadores con diámetros internos de fibra capilar de 185 y 210 μm no mostró diferencias sobre el volumen convectivo y la eficacia depurativa. Revisada la literatura, el presente estudio representa el primer estudio en HDF-OL en que se compara el diámetro interno sin variar el resto de los parámetros de diálisis. El volumen convectivo alcanzado, que varió entre 29 y 31 L por sesión, era adecuado, si bien no se observaron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las 2 series comparadas. En términos de eficacia, tampoco fueron observadas diferencias significativas en la reducción de solutos de pequeño y alto peso molecular.

La efectividad del tratamiento con HD se mide en términos de supervivencia, morbilidad y calidad de vida obtenida tanto durante la sesión de diálisis como en el período interdialisis. La HDF-OL combina el transporte difusivo y permite un aumento considerable del transporte convectivo¹⁴, lo que permite un mayor aclaramiento de moléculas de mediano y alto peso molecular^{15,16}. La HDF-OL es una técnica segura que mejora la tolerancia hemodinámica intradiálisis^{1,3}, contribuye, entre otras, a la corrección de la anemia, el estado inflamatorio crónico, la amiloidosis, el hiperparatiroidismo, el estrés oxidativo y el perfil lipídico¹⁷⁻¹⁹, y que aumenta la supervivencia³⁻⁶ y la calidad de vida^{4,20}.

A lo largo de los últimos años se han desarrollado nuevos dializadores con mayor superficie, mejor disposición geométrica de las fibras capilares, variación del espesor de pared, mayor tamaño de los poros, con el fin de conseguir una mayor depuración tanto de moléculas pequeñas como de medianas-grandes. El filtro ideal debe acercarse a las siguientes características: alta depuración de moléculas pequeñas; elevado coeficiente de cribado para β_2 -microglobulina y mioglobina; bajo coeficiente de cribado para la albúmina; presiones transmembranas bajas que no limiten el flujo de infusión; poseer un gran poder de atrapamiento de endotoxinas y una buena relación calidad-precio²¹.

La capacidad convectiva de los dializadores atiende a la ley de Hagen-Poiseuille [$\Delta p = Qb \times (8\eta/l \cdot r^4)$], la caída de presión en el interior de la fibra del dializador es directamente proporcional al Qb , la longitud (l) y la viscosidad sanguínea (η) e inversamente proporcional al diámetro interno (r^4). Una caída de presión en el interior de la fibra incrementará el gradiente de presión entre el compartimento sanguíneo y el compartimento de diálisis, dando lugar a un mayor transporte convectivo. Teniendo en cuenta que $\Delta p \sim 1/r^4$, una mínima reducción del diámetro de la fibra capilar tiene un gran impacto en la caída de presión en su interior, lo que incrementará el gradiente de presión entre la sangre y el líquido de diálisis a lo largo de toda la longitud de la fibra, con mejora tanto de la difusión como de la convección. En términos de eficacia, mientras el incremento de la difusión apenas implica variación en el aclaramiento de pequeñas moléculas, un mayor transporte convectivo origina un mayor aclaramiento de moléculas de elevado peso molecular.

En un estudio previo²², se puso de manifiesto que el aumento del Qb probablemente sea la mejor opción para

alcanzar el mayor volumen convectivo. Por cada 50 ml/min de incremento del Qb , el volumen convectivo aumenta más de medio litro por hora. El Qb aumenta la capacidad depurativa de las moléculas pequeñas y favorece la de la β_2 -microglobulina y la mioglobina. En otro estudio²³ se valoró el efecto del aumento de la superficie del dializador, y se concluyó que el incremento de la superficie del dializador originaba un pequeño incremento del volumen convectivo sin evidenciar una mejoría en la capacidad depurativa, especialmente si el coeficiente de ultrafiltración era superior a 45 ml/h/mmHg. En el presente estudio, no observamos variaciones significativas de volumen convectivo en ninguna de las 2 series comparadas. A diferencia del estudio anterior, en el presente, además de un incremento del diámetro interno de la fibra capilar del dializador de 185 μm a 210 μm , se acompañó de un pequeño aumento de 0,2 m^2 la superficie del dializador (1,4 m^2 para FX CorDiax 60 vs. 1,6 m^2 para FX CorDiax 600 y 1,8 m^2 para FX CorDiax 80 vs. 2,0 m^2 para FX CorDiax 800). Por tanto, entendemos que la no variación observada en el volumen convectivo puede ser el resultado de las variaciones opuestas, derivadas de un incremento simultáneo de superficie y diámetro que pueden compensarse entre sí.

Son limitadas las referencias sobre los efectos de la variación del diámetro interno de las fibras capilares con relación al volumen convectivo y la capacidad depurativa de los dializadores. Dellanna et al.²⁴ testaron en 10 pacientes en HD de alto flujo 3 tipos de dializadores de polisulfona con idéntico número y longitud de fibras, con diámetros internos de 175, 200 y 250 μm , superficies de 0,55, 0,65 y 0,79 m^2 , y coeficientes de cribado para β_2 -microglobulina 0,82, 0,79 y 0,71, respectivamente. Con Qb 250 y Qd 500 ml/min no observaron apenas variación en el aclaramiento de pequeñas moléculas como la urea o la creatinina. Por el contrario, el dializador con menor diámetro (175 μm), a pesar de ser el de menor superficie, mostró un aclaramiento de β_2 -microglobulina del doble del mostrado por el dializador de 200 μm y casi 5 veces superior al de 250 μm . Ronco et al.¹², también en HD, compararon *in vitro* e *in vivo* 2 tipos de dializadores de alto flujo con fibra hueca de polisulfona, de 0,7 m^2 de superficie, uno estándar con un diámetro de 200 μm y otro modificado a un diámetro interno de fibra de 175 μm , respectivamente. Con parámetros de diálisis de Qb 300 y Qd 500 ml/min, observaron *in vitro* un incremento de la filtración interna y retrofiltración de 23,1 ml/min en el dializador con fibras de 200 μm a 48,2 ml/min en el dializador de 175 μm . Los estudios *in vivo* objetivaron que la reducción del diámetro supuso un incremento del 30% en el aclaramiento de solutos intermedios como la vitamina B₁₂ o la inulina. Resultados similares obtuvieron Mineshima et al.²⁵. En un estudio analítico-experimental analizaron los efectos del diámetro interno de las fibras capilares sobre la filtración interna y la eficiencia en la eliminación de solutos en HD. Evaluaron 5 dializadores de la misma superficie (1,5 m^2) y diámetros internos de 150, 175 y 3 sesiones con 200 μm variando el número y la longitud de las fibras capilares. Objetivaron que una disminución del diámetro interno de las fibras capilares incrementaba la filtración interna y aumentaba el aclaramiento de mioglobina. En este mismo estudio ponen de manifiesto que una excesiva reducción del diámetro interno puede suponer un mayor riesgo de hemólisis y transferencia de contaminantes biológicos, por lo que proponían que la

reducción del diámetro interno no origine una caída de presión interna superior a 150 mmHg, por la propia seguridad del paciente²⁵.

No hemos encontrado en la literatura estudios comparativos del diámetro interno en HDF-OL. En un estudio que analizó los factores asociados a conseguir un mayor volumen convectivo, Marcelli et al.²⁶ observaron un volumen convectivo de $25,1 \pm 4,1$ L en 325 pacientes con FX60 en comparación con $27,3 \pm 4,6$ L en 2.572 pacientes con FX600. Sin embargo, estos 2,2 L de diferencia no pueden atribuirse al cambio del diámetro interno sino al aumento del Qb (352 ± 54 vs. 361 ± 70) y a la duración del tratamiento (241 ± 11 vs. 255 ± 19).

Concluimos que el incremento del diámetro interno de las fibras capilares en HDF-OL no ha significado una mayor eficacia en el volumen convectivo ni en la capacidad depurativa. Por tanto, el diámetro interno en dializadores con elevado coeficiente de ultrafiltración no parece ser un factor limitante en el volumen convectivo, como lo es el flujo de sangre o el tiempo de diálisis.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Queremos manifestar nuestro agradecimiento a todos los pacientes que han participado, así como a todo el personal de la Sección de Diálisis del Hospital Clínic de Barcelona por su colaboración en este estudio y su entusiasmo.

BIBLIOGRAFÍA

- Locatelli F, Altieri P, Andrulli S, Bolasco P, Sau G, Pedrini LA, et al. Hemofiltration and hemodiafiltration reduce intradialytic hypotension in ESRD. *J Am Soc Nephrol*. 2010;21:1798-807.
- Schiffli H, Lang SM, Fischer R. Effects of high efficiency post-dilution on-line hemodiafiltration or conventional hemodialysis on residual renal function and left ventricular hypertrophy. *Int Urol Nephrol*. 2013;45:1389-96.
- Maduell F, Moreso F, Pons M, Ramos R, Mora-Macià J, Carreras J, et al., ESHOL Study Group. High-efficiency postdilution online hemodiafiltration reduces all-cause mortality in hemodialysis patients. *J Am Soc Nephrol*. 2013;24:487-97.
- Peters SA, Bots ML, Canaud B, Davenport A, Grooteman MP, Kircelli F, Locatelli F, et al. HDF Pooling Project Investigators. Sanne NDT. Haemodiafiltration and mortality in end-stage kidney disease patients: A pooled individual participant data analysis from four randomized controlled trials. *Nephrol Dial Transplant*. 2016;31:978-84.
- Mostovaya IM, Blankestijn PJ, Bots ML, Covic A, Davenport A, Grooteman M, EUDIAL Group. Clinical evidence on hemodiafiltration: A systematic review and a meta-analysis. *Semin Dial*. 2014;27:119-27.
- Nistor I, Palmer SC, Craig JC, Saglimbene V, Vecchio M, Covic A. Convective versus diffusive dialysis therapies for chronic kidney failure: An updated systematic review of randomized controlled trials. *Am J Kidney Dis*. 2014;63:954-67.
- Grooteman MP, van den Dorpel MA, Bots ML, Penne EL, van der Weerd NC, Mazairac AH, et al. Effect of online hemodiafiltration on all-cause mortality and cardiovascular outcomes. *J Am Soc Nephrol*. 2012;23:1087-96.
- Ok E, Asci G, Toz H, Ok ES, Kircelli F, Yilmaz M, et al. Mortality and cardiovascular events in online haemodiafiltration (OL-HDF) compared with high-flux dialysis: Results from the Turkish OL-HDF Study. *Nephrol Dial Transplant*. 2013;28:192-202.
- Canaud B, Bowry SK. Emerging clinical evidence on online hemodiafiltration: Does volume of ultrafiltration matter? *Blood Purif*. 2013;35:55-62.
- Maduell F, Arias-Guillen M, Fontseré N, Ojeda R, Rico N, Vera M, et al. Elimination of large uremic toxins by a dialyzer specifically designed for high-volume convective therapies. *Blood Purif*. 2014;37:125-30.
- Hirano A, Kida S, Yamamoto K, Sakai K. Experimental evaluation of flow and dialysis performance of hollow-fiber dialyzers with different packing densities. *J Artif Organs*. 2012;15:168-75.
- Ronco C, Brendolan A, Lupi A, Metry G, Levin NW. Effects of a reduced inner diameter of hollow fibers in hemodialyzers. *Kidney Int*. 2000;58:809-17.
- Bergström J, Wehle B. No change in corrected β_2 -microglobulin concentration after cuprophane hemodialysis. *Lancet*. 1987;1:628-9.
- Locatelli F, Manzoni C, Di Filippo S. The importance of convective transport. *Kidney Int Suppl*. 2002;80:115-20.
- Cheung AK, Levin NW, Greene T, Agodoa L, Bailey J, Beck G, et al. Effects of high-flux hemodialysis on clinical outcomes: Results of the HEMO study. *J Am Soc Nephrol*. 2003;14:3251-63.
- Maduell F, Navarro V, Cruz MC, Torregrosa E, Garcia D, Simon V, et al. Osteocalcin and myoglobin removal in on-line hemodiafiltration versus lowand high-flux hemodialysis. *Am J Kidney Dis*. 2002;40:582-9.
- Maduell F, del Pozo C, Garcia H, Sanchez L, Hdez-Jaras J, Albero MD, et al. Change from conventional haemodiafiltration to on-line haemodiafiltration. *Nephrol Dial Transplant*. 1999;14:1202-7.
- Vaslaki L, Major L, Berta K, Karatson A, Misz M, Pethoe F, et al. Online haemodiafiltration versus haemodialysis: Stable haematocrit with less erythropoietin and improvement of other relevant blood parameters. *Blood Purif*. 2006;24:163-73.
- Kim ST, Yamamoto C, Asabe H, Sato T, Takamiya T. Online haemodiafiltration: Effective removal of high molecular weight toxins and improvement in clinical manifestations of chronic haemodialysis patients. *Nephrology (Carlton)*. 1996;2(Suppl 1):S183-6.
- Kantartzi K, Panagoutsos S, Mourvati E, Roumeliotis A, Leivaditis K, Devetzis V, et al. Can dialysis modality influence quality of life in chronic hemodialysis patients? Low-flux hemodialysis versus high-flux hemodiafiltration: A cross-over study. *Ren Fail*. 2013;35:216-21.
- Maduell F, Navarro V, Hernández-Jaras J, Calvo C. Comparación de dializadores en hemodiafiltración en línea. *Nefrología*. 2000;20:269-76.
- Maduell F, Ojeda R, Rodas L, Rico N, Fontseré N, Arias M, et al. Hemodiafiltración on-line con autosustitución: valoración de los cambios del flujo de sangre sobre el volumen convectivo y eficacia. *Nefrología*. 2015;35:50-7.
- Maduell F, Ojeda R, Arias-Guillén M, Bazan G, Vera M, Fontseré N, et al. Valoración de la superficie del dializador en la hemodiafiltración on-line. Elección objetiva de la superficie del dializador. *Nefrología*. 2015;35:280-6.
- Dellanna F, Wuepper A, Baldamus CA. Internal filtration-advantage in haemodialysis? *Nephrol Dial Transplant*. 1996;11 Suppl 2:83-6.

25. Mineshima M, Ishimori I, Ishida K, Hoshino T, Kaneko I, Sato Y, et al. Effects of internal filtration on the solute removal efficiency of a dialyzer. *ASAIO J.* 2000;46:456-60.
26. Marcelli D, Kopperschmidt P, Bayh I, Jirka T, Merello JI, Ponce P, et al. Modifiable factors associated with achievement of high-volume post-dilution hemodiafiltration: Results of an international study. *Int J Artif Organs.* 2015;38:244-50.