

Hemofiltración y hemodiálisis continua en enfermos con insuficiencia renal aguda

C. Rotellar, S. C. Sims,** R. C. Mackow, J. J. Wroblewski, J. McManus, K. Hanson*

Resumen

En este artículo describimos las técnicas de hemofiltración arteriovenosa continua (HAVC), hemodiálisis arteriovenosa continua (HDAVC) y la combinación de ambas (HHDAVC). Asimismo, presentamos nuestra experiencia en el Hospital Universitario de Georgetown con 23 casos de insuficiencia renal aguda (IRA), que fueron tratados con HAVC. En resumen, creemos que estas técnicas son muy útiles en el tratamiento de enfermos con IRA y, sobre todo, en aquellas situaciones en las que existe una inestabilidad hemodinámica importante.

PALABRAS CLAVE: Hemofiltración. Hemodiálisis. Insuficiencia renal aguda.

Hemofiltration and continuous hemodialysis in acute renal failure patients

In this article we describe the techniques of Continuous Arteriovenous Hemofiltration (CAVH), Continuous Arteriovenous Hemodialysis (CAHD) and the combination of both (CAVHHD). We also present our experience in the Hospital of Georgetown with 23 cases of acute renal failure (ARF) which were treated with CAVH. To sum up, we believe that these techniques are very useful for the treatment of ARF patients and, above all, in those situations where there is an important hemodynamic instability.

KEY WORDS: Hemofiltration. Hemodialysis. Acute renal failure.

* Hospital Universitario de Georgetown. Washington, DC. (U.S.A.).

** Actualmente, en el Centro Médico de Bowling Green. Kentucky (U.S.A.).

Introducción

La hemofiltración ha sido ampliamente utilizada en la era del riñón artificial. Primero para eliminar el exceso de agua acumulada entre las sesiones de diálisis y posteriormente como tratamiento de la insuficiencia renal crónica.

Kramer (1) fue el primero que en 1977 utilizó el concepto de hemofiltración para tratar a los enfermos con insuficiencia renal aguda (IRA) de forma continua.

Desde entonces, la técnica de hemofiltración arteriovenosa continua (HAVC) se ha venido usando más frecuentemente en las unidades de cuidados intensivos (2, 3).

Gracias a la experiencia obtenida con HAVC y a los conceptos de la diálisis, se ha desarrollado últimamente la técnica de hemodiálisis arteriovenosa continua (HDAVC) (4) y la combinación de ambas (HHDAVC) (5).

En este artículo vamos a revisar los aspectos más básicos y prácticos de estas técnicas, así como nuestra experiencia en el hospital de Georgetown en Washington DC.

Hemofiltración arteriovenosa continua (HAVC)

Concepto

La HAVC se basa esencialmente en el principio físico de filtración, que es el paso de solutos y solventes a través de una membrana.

La cantidad de filtración dependerá directamente de la diferencia de presión entre los dos lados de la membrana. Haciendo una analogía con el glomérulo, vemos que la HAVC se basa exactamente en el mismo principio físico. El riñón filtra alrededor de 180 litros de plasma al día, reabsorbe

TABLA I

	<i>Riñón</i>	<i>HAVC</i>
Filtración	180 litros/día	20 litros/día
Reabsorción	178 litros/día	-
Solución reemplazante	2 litros/día de agua (oral)	20 litros/día (o menos) (suero)

alrededor de 178 litros del ultrafiltrado y elimina solamente unos 2 litros de orina al día. La HAVC filtra alrededor de 20 litros al día (depende de las condiciones en las que trabajemos), pero no tiene la capacidad de reabsorción que tiene el riñón. Si los riñones no tuvieran la capacidad de reabsorber 178 litros del ultrafiltrado glomerular, se produciría una deshidratación aguda. Como vemos, nuestro "glomérulo" sólo es capaz de filtrar plasma, pero no de reabsorberlo, por lo que tenemos que reemplazar la función de reabsorción con la infusión de sueros (tabla I).

El aclaramiento de la HAVC dependerá directamente de la cantidad de "agua sucia" que filtremos y reemplacemos con "agua limpia". De esta forma podemos controlar la situación urémica del paciente, así como su estado hidroelectrolítico.

SCUF (2) viene del inglés "slow continuous ultrafiltration" (ultrafiltración lenta y continua) y se basa en el mismo principio que la HAVC, con la diferencia de que aquí deseamos controlar el estado acuoso del enfermo sin tratar de alterar su situación bioquímica. Esto ocurre en situaciones en

las que el enfermo con retención líquida no responde de forma adecuada a los diuréticos (insuficiencia cardíaca, síndrome hepatorenal, etc.). En estas situaciones, usamos el filtro como un mero "diurético" de forma lenta y continua para dar tiempo a que el agua se redistribuya entre los distintos espacios del organismo (fig. 1).

El volumen de filtración necesario para mantener la urea y la creatinina plasmáticas alrededor de 1 g/l y 5 mg/dl, respectivamente, es de unos 15 litros al día (10 ml/min). El equilibrio hidroelectrolítico dependerá de la cantidad y el tipo de líquido reemplazante que usemos. En enfermos hipercatabólicos debemos aumentar el volumen de filtración y aun así, a veces, no es posible controlar el cuadro bioquímico del enfermo. En estos casos, como veremos más adelante, podemos utilizar la HHD/AVC lo que aumentará el aclaramiento del filtro.

Las membranas utilizadas en estas técnicas son membranas de alta permeabilidad que permiten el paso de solutos con un peso molecular de hasta 50.000 daltons (fig. 2), por lo que prácticamente

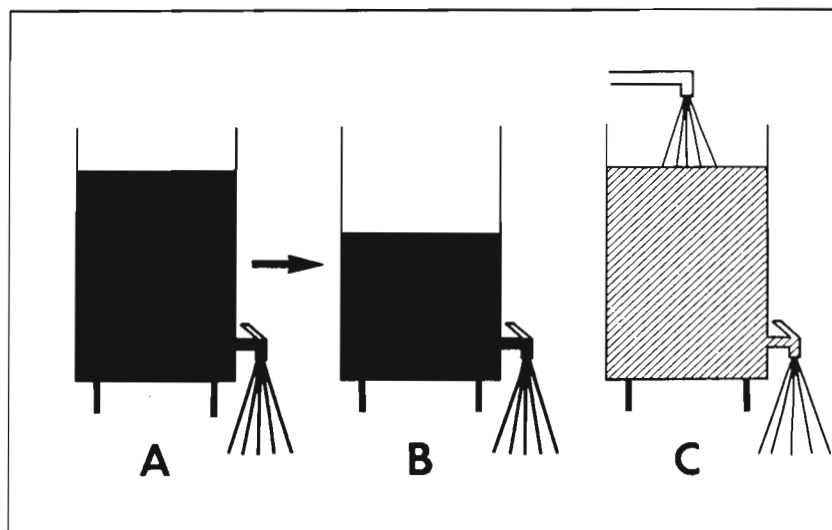


Fig. 1. Tres depósitos de "agua sucia".

A: Depósito lleno. B: SCUF disminuye la cantidad de "agua sucia".
C: La HAVC cambia la calidad del "agua sucia" al añadir "agua limpia".

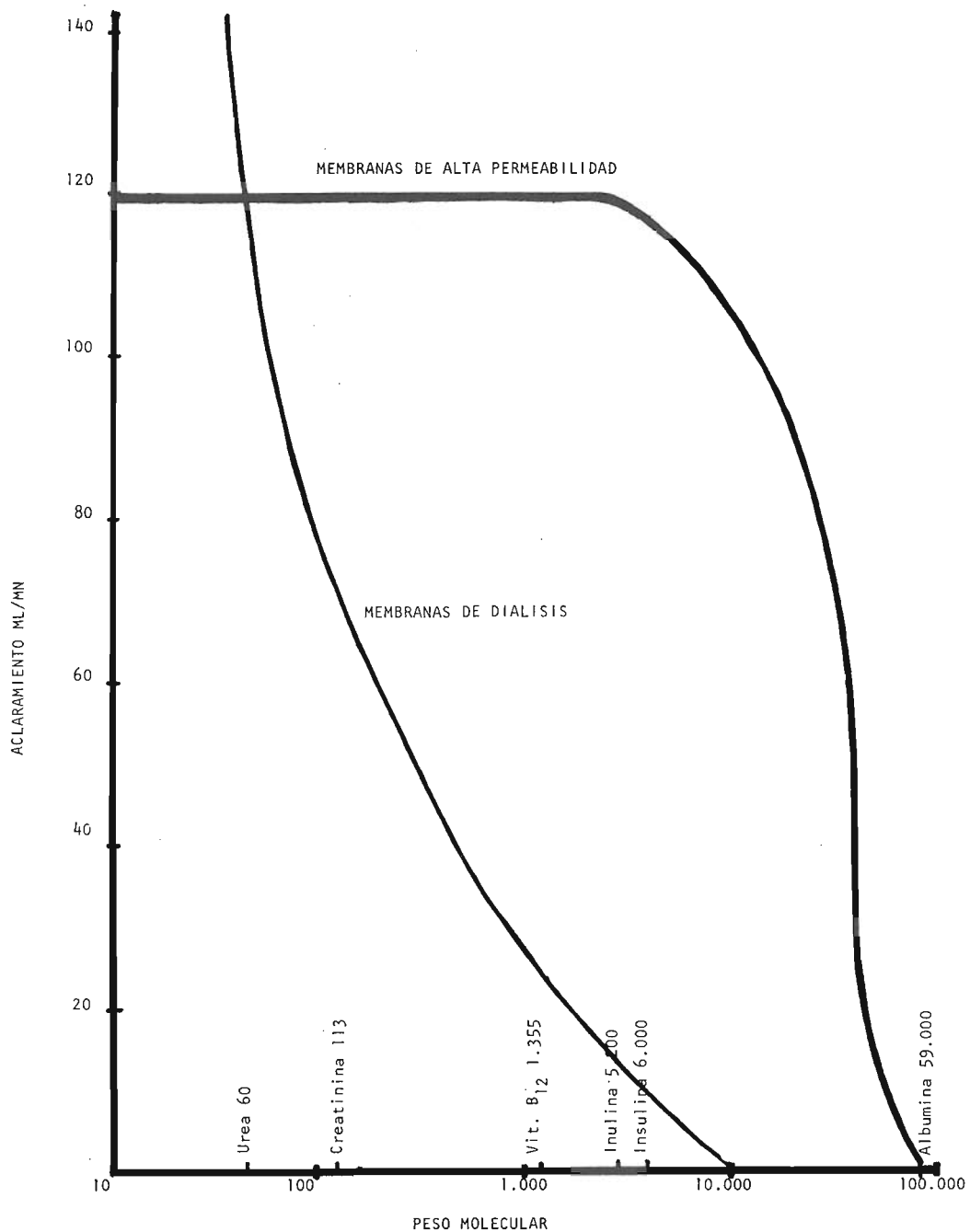


Fig. 2. Permeabilidad de las membranas de HAVC y de diálisis.

el ultrafiltrado obtenido contiene, con ciertas excepciones, la misma cantidad de sustancias que el plasma. Es importante señalar que el paso de las distintas sustancias a través de la membrana será inversamente proporcional a su unión con las proteínas plasmáticas, como, por ejemplo, ocurre con el calcio (tablas II y III).

Factores que influyen en la filtración

Como hemos visto anteriormente, podemos comparar la HAVC con el glomérulo; por lo tan-

to, los factores que influyen en la filtración durante la HAVC son básicamente los mismos que controlan la filtración glomerular. Estos factores son: La presión hidrostática a ambos lados de la membrana, la presión oncótica, las características específicas de la membrana y el hematocrito del enfermo. La presión oncótica depende de la concentración total de proteínas del paciente. La presión hidrostática en el lado sanguíneo de la membrana depende de la presión arterial media del enfermo y de la resistencia del circuito extracorpóreo. El flujo plasmático a través del filtro será directamente proporcional a la presión arterial e inversa-

TABLA II
Coeficiente ultrafiltrado/plasma

Urea	1,04
Creatinina	1,02
Sodio	0,99
Potasio	0,98
Cloro	1,04
Acido úrico	1,01
Calcio	0,63
Fósforo	1,04
Glucosa	1,04
Proteínas totales	0,02
Albumina	0,00
Lípidos	0,00
Bilirrubina total	0,03
Bilirrubina directa	0,03
Creatinina fosfoquinasa	0,60
Insulina	0,47

TABLA III
Coeficiente ultrafiltrado/plasma de los aminoácidos

Fosfoserina	0,88
Serina	0,75
Glutamina	0,96
Prolina	1,00
Glicina	0,85
Alanina	0,88
Valina	1,00
Cistina	1,00
Metionina	0,66
Isoleucina	1,00
Leucina	1,00
Tirosina	0,85
Fenilalanina	0,87
Lisina	0,87
Histidina	1,00
Arginina	0,75

mente proporcional a la resistencia del circuito extracorpóreo y al hematocrito del paciente (fig. 3). Obviamente, cuanto más alto sea el flujo sanguíneo, mayor será la cantidad de filtración con una misma presión dada, hasta que se llegue al punto de saturación de filtración del filtro (fig. 4). Existe una fórmula (F1) para calcular el flujo sanguíneo a través del filtro, aunque nosotros no estamos convencidos de que refleja con exactitud la

realidad y por eso creemos que es mejor utilizar la técnica de la burbuja de aire (6):

$$(F1) Q_B = \frac{\text{Ultrafiltrado (ml/min)} \times \text{Hematocrito postfiltro}}{\text{Hematocrito postfiltro} - \text{Hematocrito prefiltro}}$$

También es posible crear una presión negativa en el compartimiento del ultrafiltrado y aumentar así la presión transmembrana total. Esto se consi-

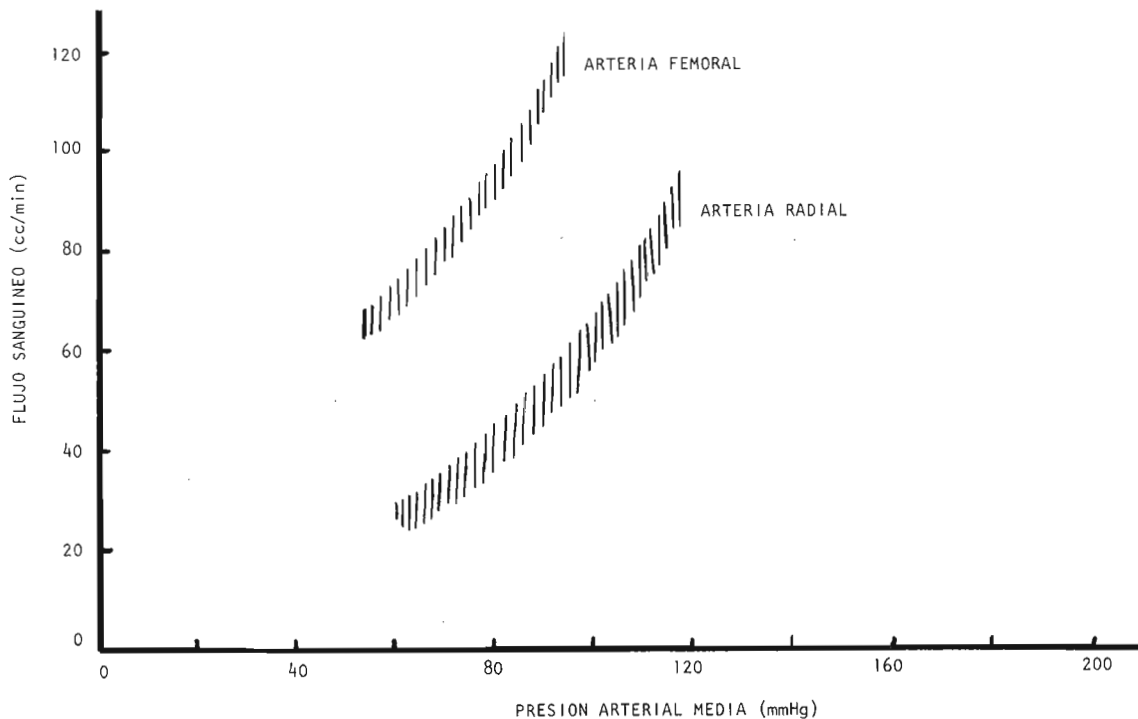


Fig. 3. Relación entre el flujo sanguíneo y la presión sanguínea dependiendo de la arteria utilizada. (Reproducción con permiso del Am. J. of Kid. Disease.)

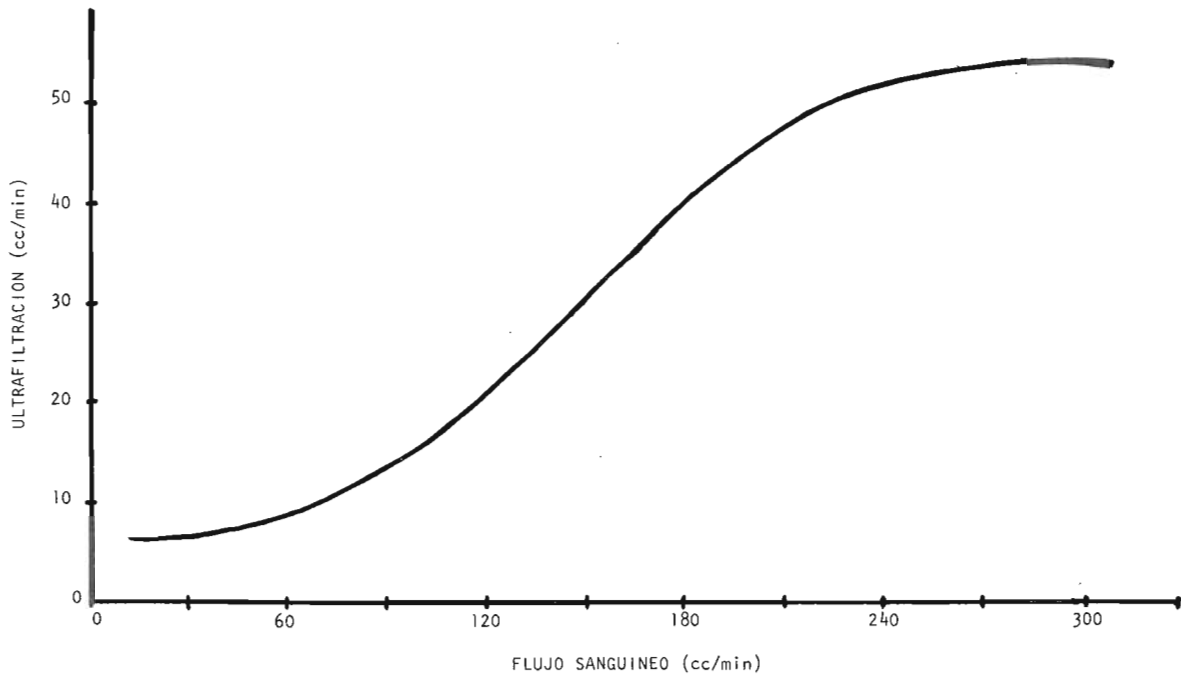
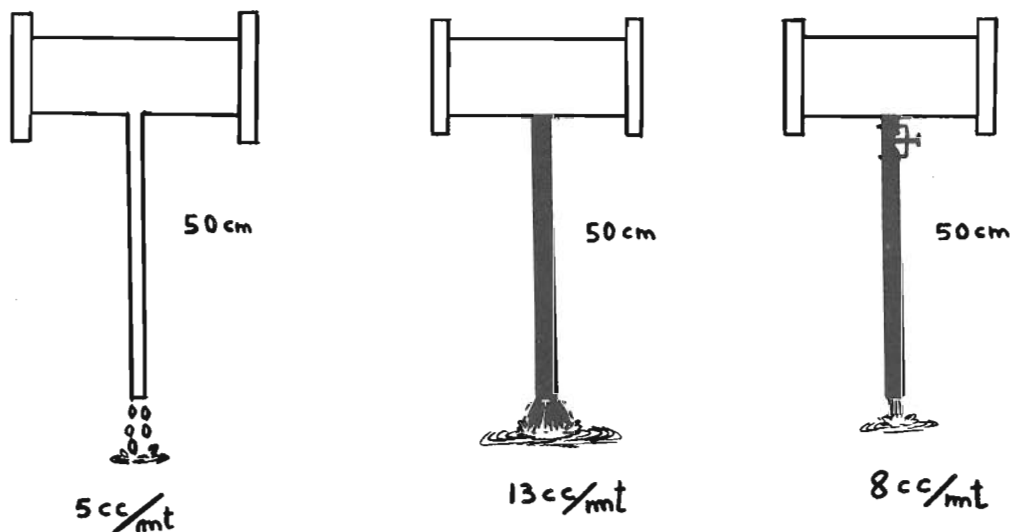


Fig. 4. Relación entre el flujo sanguíneo y la cantidad de ultrafiltrado.
(Reproducción con permiso del Am. J. Kid. Disease.)

que colocando una columna de líquido perpendicular al filtro, lo que produce una presión negativa por succión. La presión negativa varía con la longitud de la columna siguiendo la fórmula siguiente (F2):

(F2) Presión negativa = altura de la columna (cm) \times 0,74 mmHg
(el diámetro de la columna es normalmente de 0,74 cm)

La longitud de la columna de fluido que nosotros usamos normalmente es de unos 50 cm. A veces, ocurre que sin usar la columna de líquido no se obtiene la ultrafiltración deseada y, con la columna, se obtiene demasiada filtración; entonces se puede usar un clamp para regular la cantidad de ultrafiltrado (fig. 5). Para producir una presión negativa podemos también utilizar una bomba de succión. Nosotros no la utilizamos porque cree-



Presión negativa = altura (cm) \times 0,74 mm Hg.

Fig. 5. Efecto de la columna de ultrafiltrado sobre la presión negativa.

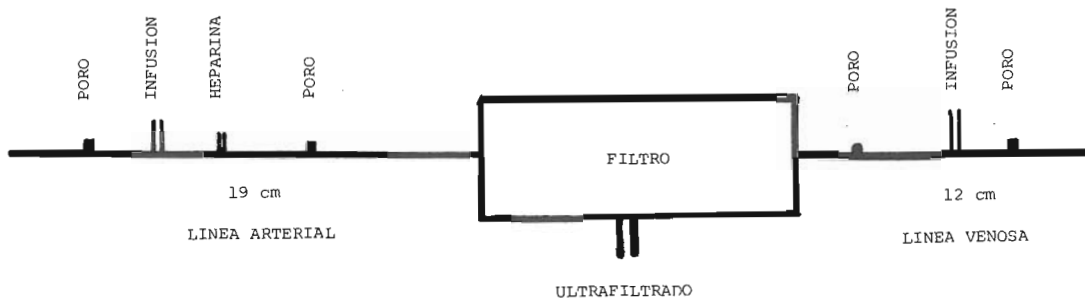


Fig. 6. Esquema del circuito extracorpóreo en la hemofiltración continua.

mos que es complicar el sistema innecesariamente, pero si se usa dicha bomba recomendamos no aplicar una presión negativa superior a 200 mmHg.

Una vez obtenido el ultrafiltrado deseado, se ajusta horariamente la infusión del líquido reemplazante para mantener el equilibrio hidroelectrolítico deseado.

Nosotros usualmente utilizamos la solución lactada de Ringer como líquido reemplazante y revisamos la bioquímica sanguínea como mínimo dos veces al día. Si el enfermo desarrolla acidosis láctica, cambiamos la solución lactada de Ringer por suero Ringer sin lactato y administramos bicarbonato sódico por otra vía endovenosa. La solución reemplazante puede cambiarse en cualquier momento y se puede usar cualquier tipo de suero dependiendo de la bioquímica del enfermo. Existen dos maneras para administrar la solución reemplazante: En la línea arterial antes del filtro (prefiltro) y en la línea venosa después del filtro (postfiltro). La ventaja de la infusión prefiltro reside principalmente en que al diluir la sangre se reduce la viscosidad sanguínea, disminuyendo la frecuencia con la que los filtros se coagulan, y al mismo tiempo se aumenta ligeramente el aclaramiento de la urea debido a que se produce difusión de urea del compartimiento celular (células sanguíneas) al plasma antes de la llegada de la sangre al filtro. La figura 6 muestra un esquema del circuito extracorpóreo y las diferentes líneas de conexión para los líquidos reemplazantes y la heparina.

Como regla general, el aclaramiento de creatinina con la HAVC corresponde al volumen de ultrafiltrado por minuto. Así, 10 ml/min de ultrafiltrado corresponde más o menos a un aclaramiento de creatinina plasmática de unos 10 ml/min, por lo que la dosis de medicamentos a administrar se debe ajustar, en este caso, para un aclaramiento de 10 ml/min.

La fracción de filtración (FF) es la porción de plasma que se filtra (20 % - 40 %) de todo el plasma que entra en el filtro por unidad de tiempo (F3):

$$(F3) \text{ FF} = 1 - \frac{\text{Proteínas totales prefiltro}}{\text{Proteínas totales postfiltro}}$$

Evidentemente, cuanto más alta es la fracción de filtración mayor es el aclaramiento de creatinina. Si la cantidad de ultrafiltrado descende, la fracción de filtración puede ser útil para evaluar el motivo de dicho descenso. Si la fracción de filtración es baja, significa que se ha producido un descenso de la presión transmembrana, mientras que si la fracción de filtración permanece elevada significa que existe una disminución del flujo sanguíneo, ya sea por disminución de la presión arterial o porque el circuito extracorpóreo se está coagulando. De todas formas, nosotros creemos que es más fácil y más correcto medir el flujo sanguíneo por el método de la burbuja de aire que usar las fórmulas. Con la observación directa del filtro podremos ver si las fibras se empiezan a coagular porque cambian de color.

Acceso vascular

Nosotros utilizamos normalmente la cánula de Scribner que colocamos en el antebrazo usando la arteria radial y la vena cefálica. En ciertas ocasiones en las que la implantación de la cánula de Scribner no ha sido posible, hemos usado catéteres en la arteria y vena femorales. Nosotros preferimos el acceso en el antebrazo a los catéteres femorales, porque éstos se infectan con mucha más facilidad. No debemos olvidar que estamos trabajando con un circuito extracorpóreo de forma continua durante las 24 horas del día, los 7 días de la semana, y la cánula de Scribner ofrece un acceso vascular más permanente. Se pueden utilizar las fistulas arteriovenosas y los injertos vasculares, pero debido a su baja presión requieren el uso de una bomba de sangre.

Filtros

Nosotros, inicialmente, empezamos usando el filtro de Gambro F55, pero últimamente utiliza-

mos los filtros de Amicón D 10 y D 20 porque son más cortos y de más fácil manejo.

Las membranas están hechas de polisulfona, poliamida o poliacrilonitrilo (tabla IV).

TABLA IV
Filtros

Filtros	Membrana	Area (m ²)	Longitud (cm)
Amicón D 10	Polisulfona	0,20	9,5
" D 20	"	0,20	12,5
" D 30	"	0,60	20,0
Fresenius			
400	"	0,70	23,0
600	"	1,40	23,0
Renafflo			
0,25	"	0,30	14,0
0,50	"	0,50	22,0
Hospal 1200S	Poliacrilonitrilo	0,50	26,0
Asahi	"	0,50	19,00
Gambro FH55	Poliamida	0,50	14,0

Cuanto más largas son las fibras, mayores son las posibilidades de que el filtro se coagule, debido a la mayor hemoconcentración en el lado venoso del filtro y, por la misma razón, la cantidad de filtración disminuye en dicha zona. Recientemente, Amicón está fabricando filtros más cortos y más anchos (con más fibras) para mantener la misma superficie (Amicón D 10).

Heparina

La cantidad de heparina viene determinada por la situación del enfermo. Enfermos con coagulación intravascular diseminada o con las plaquetas disminuidas (< 100.000/mm³) requieren dosis mínimas de heparina y, en ciertos casos, hemos podido utilizar la HAVC sin administrar heparina.

Normalmente, damos una dosis inicial de unas 100 unidades por kilo de peso y luego ajustamos la dosis para mantener el tiempo de tromboplastina parcial superior a 60 segundos. Usamos una infusión continua de unas 900 unidades por hora. La cantidad de heparina se puede calcular según la siguiente fórmula: 0,15 unidades × flujo sanguíneo por minuto × 60 = heparina horaria.

Complicaciones y desventajas

- 1) Coagulación del sistema extracorpóreo.
- 2) Ruptura de membranas.
- 3) Desequilibrio hidroelectrolítico.
- 4) Hemorragia.
- 5) Infección de los accesos vasculares.
- 6) No permite la corrección rápida de hiperkalemias o acidosis agudas.

Indicaciones

1) En enfermos con IRA y sobrecarga acuosa que requieren diálisis, pero que están hemodinámicamente muy inestables.

2) Enfermos con insuficiencia cardíaca severa que no responden a los diuréticos y necesitan eliminación de la sobrecarga acuosa.

3) Enfermos con síndrome hepatorenal que no responden a los diuréticos.

Ventajas de la HAVC

comparada con la hemodiálisis convencional

1) Es una técnica que permite estabilizar al enfermo desde el punto de vista hidroelectrolítico y urémico de una forma lenta y continua evitando cambios bruscos.

2) Permite un aporte de líquidos necesarios para una alimentación parenteral o nasogástrica continua.

3) La biocompatibilidad de sus membranas es mejor que la de las membranas de hemodiálisis.

4) El aclaramiento de las moléculas medianas es superior.

Experiencia en el Hospital Universitario de Georgetown, Washington, DC

Iniciamos el programa de HAVC en otoño de 1985 y desde entonces el número de enfermos tratados ha sido de 23 (tabla V).

Todos los enfermos han sido tratados en las unidades de cuidados intensivos.

Como hemos mencionado antes, últimamente utilizamos el filtro Amicón D 10 y D 20. La duración del tratamiento varió entre 1 día y 41 días, con una media de 10 días.

De todos los enfermos tratados, 18 fallecieron, lo que representa una mortalidad del 78,2 %. Queremos señalar que aunque la mortalidad es elevada, el manejo clínico de los enfermos con el uso de esta técnica fue relativamente sencillo. Esta mortalidad tan elevada refleja fundamentalmente el tipo de enfermos con los que trabajamos. La mayoría de ellos son pacientes extremadamente graves con fallo orgánico general. Como podemos observar en la tabla V, en 16 enfermos (69,5 %) se discontinuaron las medidas de tratamiento extraordinarias (como por ejemplo la HAVC) a petición familiar dado el mal pronóstico general del paciente.

Las principales complicaciones con las que nos encontramos fueron las siguientes:

1) Coagulación del filtro.

2) Hemorragia, que obligó en alguna ocasión a discontinuar temporalmente la HAVC. En el enfermo núm. 16 mantuvimos el mismo filtro du-

rante 2 semanas sin el uso de heparina. El paciente sufría leucemia y desarrolló aplasia de la médula ósea con insuficiencia hepática y alteraciones importantes de la coagulación, lo que explica la longevidad del filtro.

3) Ruptura de la membrana, que ocurrió solamente en dos ocasiones.

Hemodiálisis continua (HDAVC)

Consiste en el uso continuo de un dializador utilizando como líquido de diálisis el líquido de diálisis peritoneal (fig. 7).

El acceso vascular utilizado es el mismo que para la HAVC. El flujo del líquido peritoneal se puede ajustar a la velocidad deseada; en nuestros estudios *in vitro* utilizamos un flujo sanguíneo de 100 ml/min y el flujo del líquido de diálisis fue de 1 litro por hora (16,6 ml/min) (dializador: Gambro G3L de 1 m²).

Los aclaramientos que obtuvimos fueron los siguientes:

Urea: 22,5 ml/min
Fósforo: 20 ml/min

Geronemus (4), utilizando un dializador de 0,6 m² con un flujo del líquido de diálisis de 15 ml/min y usando la arteria femoral como acceso vascular, obtuvo los siguientes aclaramientos:

Urea: 13,3 ml/min
Creatinina: 12,4 ml/min

El único problema de esta técnica es que la capacidad de remover líquido en un paciente encharcado está limitada por el bajo coeficiente de ultrafiltración de las membranas de diálisis comparadas con la de la HAVC.

Combinación de HAVC y HDAVC

En los comienzos de la HAVC, los filtros contenían solamente un orificio en el compartimiento del ultrafiltrado, pero actualmente se fabrican con dos para poder utilizar ambas técnicas al mismo tiempo.

La principal ventaja de esta técnica es que, en caso de enfermos con un catabolismo muy elevado, el aclaramiento sanguíneo casi se duplica (5), gracias al efecto combinado de la filtración y de la difusión.

TABLA V
HAVC en Georgetown (Octubre 1985 - Enero 1987)

N.º	Etiología	Razón para la HAVC	Filtro	Días en HAVC	Resultado
1	Sepsis	Encharcamiento Uremia	Ami. D 20	8	Exitus
2	"	Encharcamiento	"	2	"
3	"	"	Gamb. F55	15	"
4	"	Encharcamiento Uremia	"	8	"
5	Bypass coro.	Encharcamiento	Ami. D 10	4	"
6	"	"	Gamb. F55	1	"
7	"	Encharcamiento Uremia	"	3	"
8	"	"	Ami. D 10	7	"
9	Aneur. aórtico	"	Gamb. F55	14	Paro
10	"	"	Ami. D 10	21	Exitus
11	Urosepsis	Encharcamiento	"	5	"
12	Mieloma Aminoglucós.	"	"	8	"
13	Insu. cardíaca.	"	"	14	"
14	"	"	"	2	Recuperado
15	Diab. Ins. cardíaca.	"	Ami. D 10	21	Exitus
16	Hipotensión Medicamentos	Encharcamiento Uremia	Ami. D 20	41	Paro
17	Hepatorrenal	"	Gamb. F55	11	Hemodiálisis
18	"	"	Ami. D 10	10	"
19	Hepato ciru.	"	"	6	Exitus
20	Perf. cólica. Sepsis	"	"	4	"
21	TTP	"	"	7	Recuperado
22	Sepsis	"	"	15	"
23	"	"	"	2	Exitus

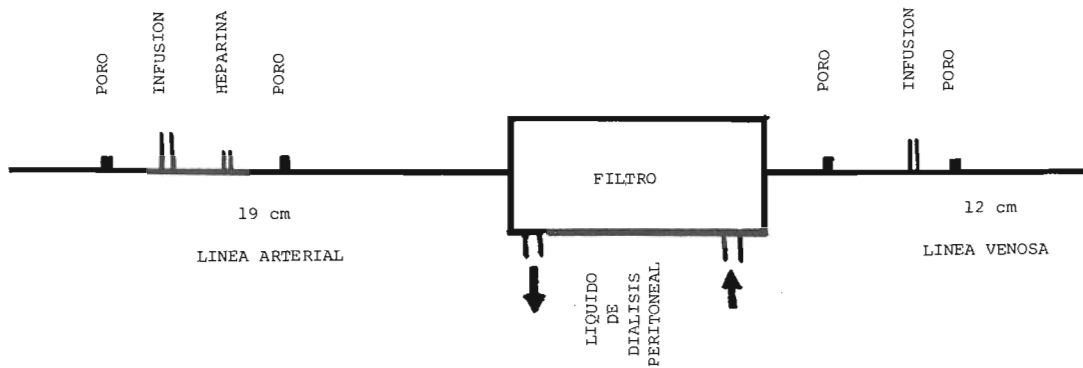


Fig. 7. Esquema del circuito extracorpóreo en la hemodiálisis continua.

En conclusión, creemos que estas nuevas técnicas ayudan mucho en el tratamiento de enfermos agudos y gracias a la gran cantidad de plasma que podemos filtrar permiten la administración de medicamentos y nutrición de forma continua sin temor a causar edema agudo de pulmón.

Bibliografía

1. Kramer, P.; Wigger, W.; Rieger, J.; Matthai, D.; Scheler, F.: Arteriovenous hemofiltration: a new and simple method for treatment of overhydrated patients resistant to diuretics. *Klin. Wochenschr.*, 55: 1.121, 1977.
2. Golper, T. A.: Continuous arteriovenous hemofiltration in acute renal failure. *Am. Jour. Kid. Dis.*, 6: 373, 1985.
3. Bartlett, R. H.; Mault, J. R.; Dechert, R. E.; Palmer, J.; Swartz, R. D.; Poert, F. K.: Continuous arteriovenous hemofiltration: improve survival in surgical acute renal failure? *Surgery*, 100: 400, 1986.
4. Geronemus, R.; Schneider, N.: Continuous arteriovenous hemodialysis: a new modality for treatment of acute renal failure. *Trans. Am. Soc. Intern. Organs*, 30: 610, 1984.
5. Ronco, C.; Bragantini, L.; Brendolan, A.; Dell'Aquila, R.; Fabris, A.; Chiaramonte, S.; Feriani, M.; Laquaniti, L.; La Greca, G.: Arteriovenous hemodiafiltration (AVHDF) combined with continuous arteriovenous hemofiltration (CAVH). *Trans. Am. Soc. Artif. Intern. Organs*, 31: 349, 1985.
6. Rotellar, E.; Simó, R.; Martínez, E.; Rotellar, C.: A new flow-meter. *Lancet*, 23: 195, 1983.