

HEMODIALISIS

Germán Ramírez, M. D.*

La hemodiálisis hace parte del tratamiento médico de la falla renal aguda o crónica. Cuando se inventó la cánula arterio-venosa externa en 1960, el uso de la hemodiálisis se hizo más frecuente y popular. Más tarde, en 1963, se redujo apreciablemente el costo de la hemodiálisis, cuando se estableció el programa de hemodiálisis en la casa. Desde entonces, este procedimiento se ha establecido como una parte indispensable de la terapia médica de la falla renal aguda o crónica. Si se conocen los principios básicos de la hemodiálisis, su aplicación es fácil. Las complicaciones son mínimas y las ganancias son grandes, cuando se refiere al bienestar del paciente.

INTRODUCCION

Las funciones básicas de los riñones son: eliminar desperdicios del metabolismo; excretar drogas o tóxicos; regular y mantener un equilibrio apropiado de agua y electrolitos y retener las sustancias que sean necesarias para el funcionamiento normal del organismo. Los riñones tienen un papel importante en el control de la presión arterial, a través del sistema renina-angiotensina¹⁻³ y en la producción de eritrocitos por el sistema de eritropoyetina⁴⁻⁶. En 24 horas los riñones desempeñan funciones numerosas y complejas que son imposibles de realizar totalmente en aparatos externos por completos que sean. El riñón artificial es, por tanto, solo una parte del tratamiento médico en las deficiencias renales agudas o crónicas y no un sustituto del órgano.

HISTORIA

Abel, Rowntree y Turner,^{7,8} entre 1913 y 1914, construyeron el primer riñón artificial. Con este aparato, llamado vivodifusor, se pudo mantener vivos por un período de tiempo a perros y conejos nefrectomizados. En 1943, Kolff y Berk⁹ en Holanda, inventaron el dializador llamado "tambor rotatorio" (Gráfica 1), y fueron los primeros en demostrar la aplicabilidad de la hemodiálisis en la clínica¹⁰. Este dializador fué introducido en los Estados Unidos en 1948 donde sufrió varias modificaciones¹¹. En 1948, Skeggs y Leonards¹² y en 1949, Skeggs et al.,¹³ descubrieron los principios del riñón artificial de flujo paralelo, que después fue perfeccionado por Kiil¹⁴. En 1955, Eatschinger y Kolff¹⁵ y al año siguiente Kolff et al¹⁶, perfecciona-

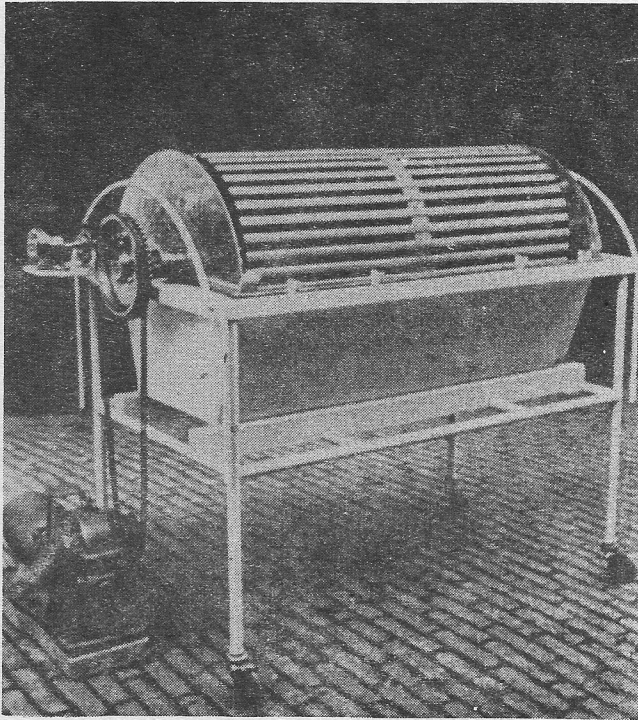
ron el sistema de espiral doble (Gráfica 2), que simplificó la operación de hemodiálisis y redujo dramáticamente el volumen de sangre necesario para llenar el dializador. A pesar de esto el uso del riñón artificial, solamente se hizo popular cuando Quinton et al¹⁷ idearon el corto-circuito arterio-venoso externo, a través de una cánula (Gráfica 3), facilitando el acceso a la sangre. En 1966, Brescia, et al¹⁸ al suprimir la cánula, mediante la fístula arterio-venosa interna (Gráfica 4), mejoraron la técnica para la hemodiálisis de uso prolongado.

PRINCIPIOS DE LA HEMODIALISIS

La hemodiálisis consiste en el paso de la sangre a través de una membrana semipermeable, rodeada de una solución electrolítica de concentración similar a la del plasma. Por difusión y ósmosis, ciertas sustancias indeseables de la sangre son extraídas y la sangre así "purificada" vuelve de nuevo al paciente.

Las membranas semipermeables tienen poros diminutos cuyas dimensiones de 30 a 90 Å, no permiten el paso de proteínas, bacterias o virus. Esto es de interés, porque el fluido en contacto con la sangre a través de la membrana semipermeable, no es estéril y no necesita serlo. El componente más importante del riñón artificial es el dializador, que contiene la membrana semipermeable a través de la cual se hace el intercambio de la sangre y el líquido que rodea la membrana. Actualmente existe una gran variedad de dializadores; sin embargo, su eficacia depende del área de la membrana semipermeable, puesto que entre mayor sea el área, mayor es la superficie de intercambio. El aumento en el área de la membrana tiene la desventaja de aumentar la cantidad de sangre necesaria para llenar el dializador. La presión interna o resistencia al paso de la sangre, es otra

* Instructor de Medicina. Departamento de Medicina Interna, Universidad de Utah. Director de la Unidad de Hemodialisis del Veterans Administration Hospital Salt Lake City, Utah.

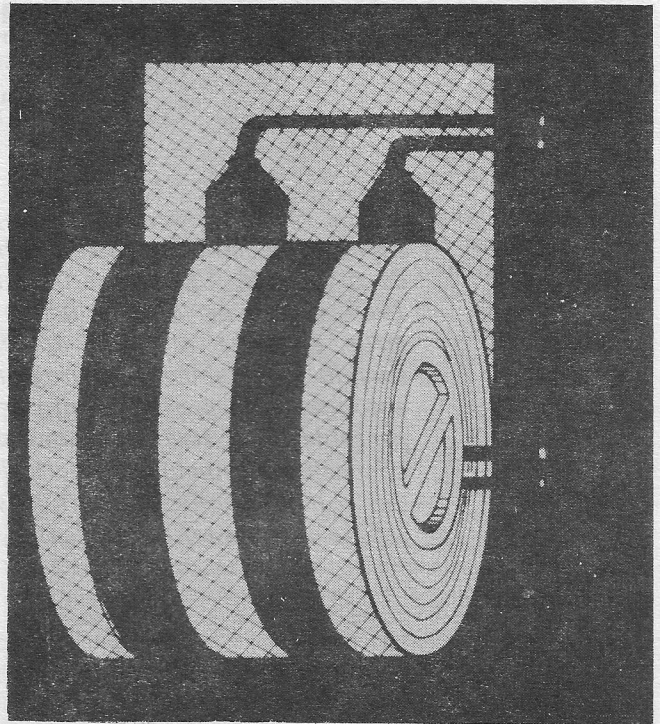


Gráfica 1. Prototipo del primer riñón artificial, llamado "tambor rotatorio", construido en 1943 por Kolff y Berk en Holanda.

característica importante, pues si la resistencia es grande, se necesita un mecanismo que fuerce la sangre a través del dializador.

La composición electrolítica de la solución que rodea la membrana se muestra en el CUADRO 1. Las concentraciones de calcio y potasio se pueden variar, según las necesidades del enfermo. La osmolaridad de la solución también se puede modificar agregando sustancias como glucosa o urea. Al preparar la solución se debe tener cuidado con el agua, pues a veces tiene cantidades variables de calcio, magnesio y flúor que, si están presentes en exceso, pueden producir reacciones peligrosas^{19,20}.

La obtención de sangre para la diálisis, requiere el uso de ciertos accesorios. Los más comúnmente usados son: 1) Catéteres de Shaldon²¹. Son catéteres largos, con huecos laterales, diseñados para insertarlos en los vasos femorales y que solo se usan en momentos de emergencia, cuando en el paciente no hay otra vía de acceso a la sangre. 2) Cánula arterio-venosa externa¹⁷ (Gráfica 3). Consiste en un tubo blando de silástico, que comunica la arteria con la vena en el antebrazo o en la pierna. Este tubo, permite un cortocircuito permanente entre la arteria y la vena, cuando el paciente no necesita diálisis. La cánula externa no está desprovista de complicaciones como separación accidental, obstrucción debido a trombosis, necrosis de la piel que rodea la cánula e infecciones. La vida media de la cánula es

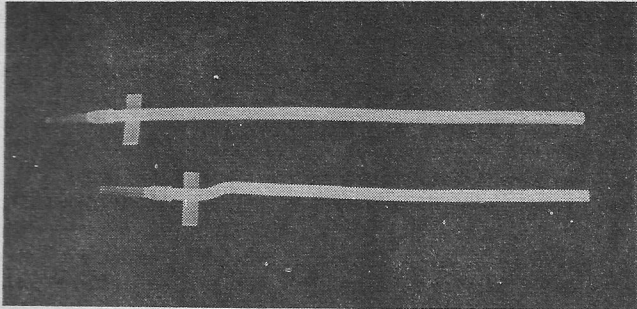


Gráfica 2. Representación esquemática del dializador llamado espiral doble, perfeccionado en 1955 por Watschinger y Kolff, que dió origen a los dializadores desechables.

aproximadamente de 6 meses. 3) Fístula arterio-venosa interna¹⁸ (Gráfica 4). Esta invención es, hasta ahora, el mejor sustituto de la cánula. La fístula se hace usualmente en el antebrazo, y es casi siempre una anastomosis término-lateral entre una vena y la arteria radial. En algunas ocasiones la anastomosis es látero-lateral, pero se obtienen mejores resultados con la anastomosis término-lateral. La fístula arterio-venosa interna tiene sus complicaciones como: insuficiente flujo de la sangre para la diálisis; se requiere tiempo para que la fístula "madure" y pueda ser usada; formación de hematomas, especialmente cuando la vena no se punciona en forma adecuada; presencia de tejido cicatricial en los sitios de punción que hace el procedimiento difícil con el tiempo y, trombosis que son menos frecuentes que con la cánula.

En toda diálisis, hay ciertos principios que afectan su eficacia como:

1. Cantidad de sangre circulante por el dializador. La rapidez con que la sangre circula influye en la eficiencia de la diálisis, puesto que a mayor velocidad, hay más oportunidad de intercambio entre la sangre y el líquido que rodea el dializador.
2. El área de superficie de la membrana. Pues entre más grande sea la membrana mejor es la diálisis, simplemente porque el área de difusión es mayor.



Gráfica 3. Cánula arterio-venosa externa, tal como se usa en la actualidad. Esta cánula viene en diferentes modelos y tamaños.

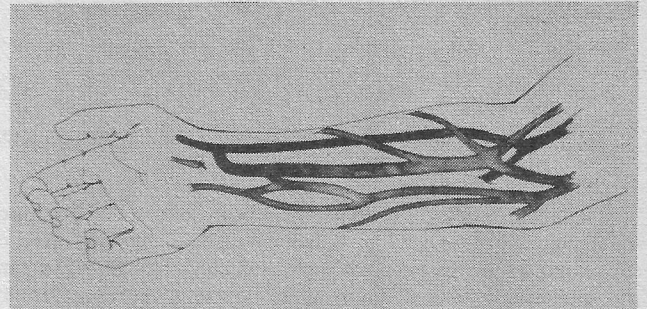
3. **Permeabilidad de la membrana.** Que a su vez depende de la velocidad de circulación del fluido que rodea el dializador y la temperatura con que circula esta solución. La eficiencia de la diálisis aumenta, cuando el gradiente de difusión entre la sangre y el líquido que rodea la membrana se mantiene a una tasa constante. Si el fluido se deja en contacto con la sangre por un período largo de tiempo, la difusión desaparece, y las concentraciones en ambos lados de la membrana llegan a un equilibrio. Para evitar este problema, el líquido que rodea la membrana es recirculado y desechado constantemente.

4. **La temperatura.** Es otro factor que influye en la diálisis pues la movilidad de las moléculas aumenta con su elevación. En la práctica, la temperatura no debe pasar de 40°C., porque por encima de esta cifra se presenta la hemólisis.

INDICACIONES DE LA HEMODIALISIS

La hemodiálisis es uno de los métodos de tratar la falla renal. La hemodiálisis se usa para mantener la vida en una forma adecuada durante un período de falla renal aguda (lesión renal reversible), o en falla crónica (daño permanente). Por tanto, las indicaciones para el uso del riñón artificial son las siguientes:

- 1) Falla renal aguda²², durante la fase oligúrica y cuando el contenido de nitrógeno ureico y la creatinina, están aumentando en la sangre.
- 2) Falla renal crónica²³, cuando los riñones no son capaces



Gráfica 4. Representación esquemática de la fístula arterio-venosa interna. En este diagrama, la comunicación arterio-venosa es término-lateral.

de mantener la homeostasis interna.

- 3) Intoxicaciones agudas^{24,25} cuando el tóxico puede ser removido de esta manera.
- 4) Edema y falla cardíaca resistente al tratamiento médico^{26,27}. El riñón artificial es uno de los mejores métodos para eliminar líquidos del organismo en una forma rápida.

COMPLICACIONES Y PRECAUCIONES DURANTE LA HEMODIALISIS

1. **Anticoagulación.** La sangre se coagula cuando no está en contacto con el endotelio normal de los vasos sanguíneos. Durante la hemodiálisis, la sangre se pone en contacto con una superficie extraña y relativamente irregular. Esto hace necesario el uso de anticoagulantes. Debido a que la hemodiálisis se hace en un período corto de tiempo (5 a 8 horas), es mejor emplear un anticoagulante de vida media corta, como la heparina. La heparina se encuentra en cantidades mínimas en los tejidos, especialmente en el pulmón; es antagonista de la tromboplastina, reduce la formación de trombina e interfiere en la reacción trombina-fibrinógeno, disminuyendo la producción de fibrina. El efecto de la heparina se mide por el aumento en el tiempo de coagulación.

Durante la diálisis los pacientes son heparinizados en forma sistémica y el tiempo de coagulación se prolonga a cerca de una hora. Para mantener este tiempo de coagulación y determinar la cantidad necesaria de heparina se da una

CUADRO 1

Contenido electrolítico de la solución usada en diálisis.

SUBSTANCIAS QUIMICAS	ELECTROLITOS en meq/l.					
	gm./l.	Na	Cl	Ca	Mg	Acetato
NaCl	5.8	99.4	99.4			
NaC ₂ H ₃ O ₂	4.5	34.8				33.0
CaCl ₂	0.14		2.5	2.5		
MgCl ₂	0.15		1.5		1.5	
Dextrosa	2.0					
TOTAL		134.2	103.04	2.5	1.5	33.0

El calcio o el potasio se pueden agregar en forma de CaCl₂ o KCl.

dosis inicial de 3000 unidades. Al medir cada hora el tiempo de coagulación se verá si conviene utilizar más heparina o nó. Cuando no es necesario un tiempo de coagulación tan prolongado, se usa el método de heparinización continua, en el cual, una infusión de heparina se inyecta continuamente en el tubo que lleva la sangre del paciente hacia el dializador; la cantidad se regula de tal manera que el tiempo de coagulación en la máquina no exceda de 30 minutos.

La heparinización regional, es lo opuesto a la heparinización sistémica. En este método, la heparina se inyecta continuamente en el dializador, y se neutraliza con protamina, antes de que la sangre retorne al paciente²⁸. Este procedimiento es difícil de regular y su uso es muy limitado en la actualidad, pues como la protamina no neutraliza la acción de la heparina miligramo por miligramo, el compuesto protamina-heparina puede disociarse de 4 a 6 horas después de terminarse la hemodiálisis con el consecuente peligro de heparinización sistémica y hemorragia²⁹.

2. Ultrafiltración. Ultrafiltrar en hemodiálisis, significa remover fluídos. En diálisis esto se puede hacer: a) aumentando la presión osmótica en el baño que rodea el dializador, con la adición de dextrosa o urea, o b) creando una diferencia de presión a través de la membrana, induciendo un flujo constante de líquido hacia el lado de menor presión. La diferencia de presiones entre el dializador y el baño que lo rodea, determina la cantidad de fluido eliminado.

Una ultrafiltración excesiva, se traduce en contracciones musculares involuntarias y dolorosas, náusea, dolor de cabeza, sed y descenso brusco de la presión arterial. Cuando el volumen de orina es mínimo, se debe regular la cantidad de líquidos ingeridos. Los líquidos que no se eliminan con la respiración, el sudor, la materias fecales, o la orina, permanecen en el paciente, a menos que se extraigan con la diálisis.

3. Hipotensión. Es un problema bastante común al comenzar la diálisis. Con frecuencia se debe a la reducción del volumen intravascular, cuando se llena el dializador. Esta

reacción puede ser alarmante para el enfermo, pero rara vez es seria; casi siempre responde a una infusión de solución salina. La hipotensión que aparece al final de la diálisis, generalmente se debe a ultrafiltración excesiva.

En algunos pacientes con hipoproteinemia y edema generalizado, se presenta hipotensión al comienzo de la diálisis. En estos casos, es posible extraer agua del compartimiento intravascular, pero no hay suficiente presión oncótica para atraer fluídos del compartimiento extravascular. La albúmina o los coloides como el dextrán, pueden ser de alguna ayuda, pero estas sustancias solo tienen un efecto benéfico pasajero. Finalmente, hay pacientes que sufren de hipotensión antes de que pierdan un volumen apreciable de líquido. Quizás esto se debe a respuestas vasomotoras, o a la administración de sedantes o antihipertensores.

Algunos pacientes desarrollan hipertensión durante la diálisis. La causa de este fenómeno no es clara en la actualidad. En ocasiones, la hipertensión se origina en un aumento del volumen cardíaco por minuto, cuando se elimina el exceso de fluídos y se favorece la acción cardíaca³⁰. Otras veces la hipertensión puede deberse a un aumento en la resistencia periférica, posiblemente en forma refleja³¹, o por acción hormonal³². Si la presión distólica aumenta de manera progresiva, se puede administrar hidralazina (5-10 mg) o reserpina endovenosa (0.1 - 0.3 mg). Si hay una base firme para sospechar que la hipertensión se debe a un exceso de renina, se puede emplear el propranolol³³.

4. Fiebre y escalofríos. Por fortuna son poco frecuentes durante la hemodiálisis. Entre sus causas hay que considerar la bacteremia transitoria y en toda ocasión en que se presenten, se deben hacer hemocultivos. Un sitio muy común de contaminación bacteriana, es el área de contacto entre la piel y la cánula, pues en ese lugar siempre existe una capa de sangre reseca. En la mayoría de las veces, la fiebre y escalofríos no tienen explicación.

Los pirógenos pueden producir reacciones febriles y por ello siempre se debe tener cuidado con el material que se usa. El tratamiento de la fiebre no es específico.

5. Síndrome de desequilibrio. Este síndrome generalmente aparece en enfermos con uremia severa que no han sido dializados con anterioridad. Casi siempre se presenta al finalizar la diálisis, o aún después de terminado el procedimiento. Comienza con un cuadro de agitación, contracciones musculares y confusión, que puede progresar a convulsiones y coma^{34,35}. La causa de este síndrome no es clara, pero ciertamente se asocia con la rápida extracción de la urea de la sangre, mientras su concentración en los tejidos cerebrales permanece elevada. Debido a esto el agua de la sangre pasa a los tejidos y se aumenta la presión intracraneana. El síndrome de desequilibrio es más frecuente en sujetos jóvenes y su prevención consiste en una diálisis inicial cuidadosa y corta.

REFERENCIAS

1. Sealey, J.E., Gerten-Banes, J. y Laragh, J.H.: The renin system:

- variations in man, measured by radioimmunoassay or bioassay. *Kidney Int*, 1: 240-253, (1972).
2. Genest, J. et al.: Studies of the pathogenesis of human hypertension: the adrenal cortex and renal pressor mechanism. *Ann Intern Med* 55: 12-28, (1961).
 3. Page, I.H. y McCubbin, J.W.: **Renal Hypertension**. Year Book Medical Publishers Inc., Chicago. (1969).
 4. Van Dyke, D.C. et al.: Hormonal factors influencing erythropoiesis *Acta Haematol* 11: 203-222, (1954).
 5. Gurney, C.W.: Studies on erythropoiesis. VI. Erythropoietin in human plasma. *J Lab Clin Med* 50: 534-542, (1957).
 6. Contrera, J.F. et al.: Extraction of an erythropoietin producing factor from a particulate fraction of rat kidney. *Blood* 28: 330-343, (1966).
 7. Abel J.J. et al.: On the removal of diffusible substances from the circulating blood by means of dialysis. *Trans Ass Amer Physicians*, 28: 51-54, (1913).
 8. Abel, J.J. et al.: On the removal of diffusible substances from the blood of living animals. *J Pharmacol Exp Ther*, 5: 275-316, (1914).
 9. Kolff, W.J., y Berk, H.T.J.: Artificial kidney dialyzer with great area. *Acta Med Scand* 117: 121-134, (1944).
 10. Kolff, W.J.: The artificial kidney: past, present and future. *Circulation*, 15: 285-294, (1957).
 11. Merrill, J.O., et al.: Use artificial kidney: Technic. *J Clin Invest*, 29: 412-424, (1950).
 12. Skeggs, L.T., y Leonards, J.R.: Studies on Artificial Kidney. I Preliminary results with new type of continuous dialyzer. *Science*. 108: 212-216, (1948).
 13. Skeggs, L.T.Jr., Leonards, J.R., y Heisler, C.R.: Artificial kidney. II. Construction and operation of improved continuous dialyzer. *Proc Soc Exp Biol Med* 72: 539-543, (1949).
 14. Kiil, F.: Development of a parallel flow artificial kidney in plastics. *Acta Chir Scan* 253 (suppl.): 142-150, (1960).
 15. Watschinger, B., y Kolff, W.J.: Further development of the artificial kidney of Inouye and Engelberg. *Trans Amer Soc Artif Intern Organs*, 1: 37-39, (1955).
 16. Kolff, W.J., Warschinger, B., y Veters, V.: Results in patients treated with the coil kidney (Disposable dialyzing unit). *JAMA* 161: 1433-1437, (1956).
 17. Quinton, W., Dillard, D., y Scribner, B.H.: Cannulation of blood vessels for prolonged hemodialysis. *Trans Amer Soc Artif Intern Organs*, 6: 104-109, (1960).
 18. Brescia, M.J., Cimino, J.E., Appel, K., y Hurwich, B.J.: Chronic hemodialysis using venipuncture and surgically created arterio venous fistula. *New Engl J Med*, 275: 1089-1092, (1966).
 19. Freeman, R.M., Lawton, R.L., y Chamberlain, M. A.: Hard water syndrome. *New Engl J Med* 276: 1113-1118, (1967).
 20. Kim, D., Greco, F., Hefferen, J.J. y Levin, N.W.: Bone fluoride in patients with uremia maintained by chronic Hemodialysis. *Amer Soc Artif Intern Organs*, 16: 474-477, (1970).
 21. Shaldon, S., Chiandussi, L., y Higgs, B.: Hemodialysis by percutaneous catheterization of the femoral artery and vein with regional heparinization. *Lancet* 2: 857-859, (1961).
 22. Dossetor, J.B. y Gault, M.H. Nephron Failure: conservation, substitution, replacement. Springfield, Illinois. Chas C. Thomas, (1971).
 23. Merrill, J.O. y Hampers, C.L.: Uremia: Progress in pathophysiology and treatment. New York. Grune and Stratton Inc., (1971).
 24. Schreiner, G.E.: Dialysis of poisons and drugs. Annual review. *Trans Amer Soc Artif Intern Organs*, 16: 544-568, (1970).
 25. Reindenberg, M.M.: Renal function and drug action. W.B. Saunders Co. Philadelphia, (1971).
 26. Raja, R.M., et al.: Repeated peritoneal dialysis in treatment of heart failure. *JAMA* 213: 2268-2269, (1970).
 27. Rosenbaum, J.L., Nakamoto, S. y Kolff, W.J.: The artificial kidney in chronic renal failure. *Postgrad Med* 32: 585-592, (1962).
 28. Gordon, L.A., et al.: Studies in regional heparinization. II. Artificial kidney. Hemodialysis without systemic heparinization. *New Engl J Med* 255: 1063-1066, (1956).
 29. Blaufox, M.D., Hampers, C.L., y Merrill, J.P.: Rebound anticoagulation occurring after general heparinization for hemodialysis. *Trans Amer Soc Artif Intern Organs* 12: 207-209, (1966)
 30. Del Greco, F., Shere, J., y Simon, N.M.: Hemodynamic effects of hemodialysis in chronic renal failure. *Trans Amer Soc Artif Intern Organs* 10: 353-355, (1964).
 31. Dustan, H.P., y Page, I.H.: Some factors in renal renovascular hypertension. *J Lab Clin Med* 64: 948-959, (1964).
 32. Tu, W.H.: Plasma renin of advanced nephritis treated by long term dialysis. *Clin Res*, 13: 116, (1965).
 33. Buhler, F.R., et al.: Propranolol inhibition of renin secretion. *New Engl J Med*, 287: 1209-1214, (1972).
 34. Peterson, H de C., y Swanson, A.G.: Acute encephalopathy occurring during hemodialysis. The reverse urea effect. *Arch Intern Med* 113: 887-880, (1964).
 35. Maher, J.F. y Schreiner, G.E.: Hazards and complications of dialysis. *New Engl J Med* 273: 370-377, (1965).