



# Hemodiálisis y termorregulación

**J. L. Teruel**

Servicio de Nefrología. Hospital Ramón y Cajal. Madrid.

El hombre, como todos los seres homeotermos, mantiene la temperatura corporal en unos márgenes muy estrechos gracias a un estricto equilibrio entre la producción y la pérdida de calor. El termostato corporal, que controla los mecanismos aferentes de la termorregulación, está localizado en la parte anterior del hipotálamo y se regula fundamentalmente por la temperatura de la sangre a la salida del corazón (temperatura corporal central). En circunstancias habituales, el balance térmico se consigue mediante la regulación de la pérdida de calor por la piel a través de variaciones en el flujo sanguíneo cutáneo<sup>1</sup>.

El tratamiento con hemodiálisis interfiere directamente en el sistema de termorregulación. El dializador actúa como un intercambiador de calor entre la sangre y el líquido de diálisis y puede calentar o enfriar al paciente. La temperatura del baño se estableció inicialmente en 37° C porque se consideró que ésta era la temperatura corporal normal. Estudios realizados hace más de quince años observaron que temperaturas de baño más bajas (hemodiálisis fría), disminuían la frecuencia de hipotensiones en enfermos con mala tolerancia hemodinámica a la hemodiálisis<sup>2-5</sup>. Los adelantos conseguidos en la técnica de hemodiálisis y en el tratamiento de la insuficiencia renal crónica, sobre todo en el control de la anemia, mejoraron la tolerancia clínica y se perdió el interés por la hemodiálisis fría. Se ha seguido considerando la temperatura de 37° C como la habitual del líquido de diálisis, a pesar que la validez de esta cifra como temperatura corporal normal es muy cuestionable.

El valor de 37° C como temperatura normal fue establecido a finales del siglo XIX por Wunderlich con un termómetro de mercurio de su invención, colocado en la axila. Se ha demostrado que el modelo de termómetro de Wunderlich proporcionaba lecturas más altas que los termómetros actuales<sup>6</sup>. Solo razones históricas justifican el mantenimiento de esta cifra como temperatura normal<sup>7</sup>.

Es además reconocido que los enfermos de diálisis tienen una temperatura basal inferior a la población normal<sup>8,9</sup>. La temperatura axilar recogida en un control transversal de los enfermos de nuestra Unidad de Hemodiálisis no alcanzó los 37° C en ningún caso: la media fue 36° C, la mediana 36,1° C y el rango 35-36,7° C. En defensa de la temperatura de baño de hemodiálisis de 37° C se ha argumentado que la temperatura axilar es inferior a la central, que una temperatura de baño ligeramente superior a la temperatura corporal compensa el enfriamiento de la sangre en el circuito extracorpóreo y sobre todo que la experiencia a lo largo de muchos años ha demostrado la seguridad y buena tolerancia en general de esta temperatura.

Nuevos estudios referentes a las alteraciones de la termorregulación inducidas por la hemodiálisis han reabierto la polémica sobre la temperatura adecuada del líquido de diálisis.

## ALTERACIONES DE LA TERMORREGULACIÓN INDUCIDAS POR LA HEMODIÁLISIS

En los últimos años se ha avanzado en el conocimiento de los efectos de la hemodiálisis sobre la termorregulación. Aparte de la influencia de la temperatura del baño, en cada sesión de hemodiálisis se producen una serie de fenómenos inherentes al propio tratamiento, que afectan tanto a la producción como a la pérdida de calor.

La activación simpática provocada por la reducción rápida del volumen sanguíneo, los intercambios de agua y solutos entre los compartimentos corporales y la liberación de citoquinas inflamatorias por los fenómenos de bioincompatibilidad, aumentan la producción de energía<sup>10</sup>. La redistribución de la sangre hacia la circulación central y la vasoconstricción periférica en respuesta a la hipovolemia, impiden la transferencia de energía desde el interior del organismo hasta la superficie y su pérdida a través de la piel<sup>11</sup>. Estas reacciones favorecen la acumulación de calor y el aumento de la temperatura corporal central.

Por otra parte en la sesión de hemodiálisis se pierde energía por mecanismos extrafisiológicos: el volumen de líquido corporal ultrafiltrado tiene una

---

**Correspondencia:** Dr J. L. Teruel  
Servicio de Nefrología  
Hospital Ramón y Cajal  
Carretera de Colmenar, km 9,100  
28034 Madrid  
E-mail: jteruel.hrc@salud.madrid.org

energía calórica interna que es liberada del organismo<sup>12</sup> y además hay irradiación de calor desde el circuito extracorpóreo al medio ambiente<sup>13</sup>. El calor irradiado depende del tiempo de permanencia de la sangre fuera del organismo y es inversamente proporcional al flujo sanguíneo<sup>14</sup>.

La tasa de ultrafiltración adquiere un papel relevante en las alteraciones de la termorregulación relacionadas con la hemodiálisis, ya que contribuye tanto a la pérdida de energía como al aumento de la generación y conservación de la misma<sup>11,12,15</sup>.

### **NUEVOS CONCEPTOS: HEMODIÁLISIS TERMONEUTRA Y HEMODIÁLISIS ISOTÉRMICA**

La aparición de monitores que miden de forma no invasiva la temperatura de la sangre en las líneas arterial y venosa del circuito extracorpóreo, ha permitido cuantificar los efectos de la hemodiálisis sobre la temperatura corporal central y sobre el balance de energía<sup>16</sup>. Se asume que la temperatura de la sangre en la línea arterial, corregida por la recirculación, es equivalente a la temperatura corporal central y proporciona una medida bastante fiel de la misma. A partir del gradiente arteriovenoso de temperatura y del flujo de sangre es posible calcular el balance energético global entre el enfermo y el circuito extracorpóreo<sup>17</sup>.

El conocimiento de la evolución de la temperatura corporal central y del balance energético define dos modelos de hemodiálisis por su efecto sobre la termorregulación: la hemodiálisis termoneutra cuya finalidad es conseguir que el balance energético que sea igual a cero, y la hemodiálisis isotérmica cuyo objetivo es mantener estable la temperatura corporal central<sup>18</sup>.

Para aproximarnos a una hemodiálisis termoneutra hay que subir la temperatura del líquido de diálisis a 37,5° C. Con esta temperatura de baño la tasa de transferencia de energía suele estar equilibrada, a costa de un aumento alrededor de 0,5 °C de la temperatura corporal central. Para acercarnos a la hemodiálisis isotérmica, la temperatura de líquido de diálisis más adecuada es 35,5 °C; con ella la temperatura corporal central o no se modifica o desciende ligeramente, pero la transferencia de energía siempre es negativa<sup>17,19-21</sup>. Con la temperatura habitual del baño de 37° C se consigue una respuesta intermedia y mixta: el balance de energía es levemente negativo con ligero aumento de la temperatura corporal central<sup>22</sup>.

Mientras que la pérdida de energía no tiene efectos clínicos inmediatos, el aumento de la temperatura corporal central provoca un reflejo vasodilata-

dor que anula la respuesta vasoconstrictora a la ultrafiltración, favoreciendo la aparición de episodios de hipotensión en enfermos predispuestos<sup>1</sup>. Un estudio controlado demostró que la hemodiálisis isotérmica es mejor tolerada que la hemodiálisis termoneutra<sup>23</sup>, llegándose a la conclusión que la estabilidad hemodinámica a la diálisis depende de los cambios de la temperatura central y no del balance energético<sup>24</sup>.

Para prevenir el aumento de la temperatura corporal es preciso provocar un balance negativo de energía durante la sesión de hemodiálisis. La tasa de transferencia de energía de una hemodiálisis con baño de 35,5° C está alrededor de -25 wátios<sup>17,20</sup>; en una sesión de 4 horas supone una pérdida de energía de 86 kilocalorías, que representa aproximadamente el 30% del gasto energético basal<sup>15,22</sup>.

### **HEMODIÁLISIS FRÍA EN LA ACTUALIDAD**

Los estudios iniciales en los que se objetivaron efectos clínicos beneficiosos con la hemodiálisis fría fueron realizados en enfermos con anemia severa, tratados con una técnica de diálisis muy diferente de la actual: baño de acetato, monitores sin control volumétrico y dializadores de cuprofan.

Con los procedimientos actuales de hemodiálisis se ha comprobado que la hemodiálisis fría produce una disminución relativa del volumen sanguíneo en relación a la tasa de ultrafiltración que es igual o incluso mayor que la provocada por la hemodiálisis con baño de 37° C; sin embargo el descenso de la tensión arterial y el aumento de la frecuencia cardíaca son menores indicando una mayor eficacia de la respuesta hemodinámica a la hipovolemia<sup>18,22</sup>.

Para valorar la repercusión clínica de la hemodiálisis fría en la actualidad, realizamos el trabajo cuyos resultados se publican en este número<sup>25</sup>. El objetivo fue estudiar la influencia de la temperatura del baño sobre la tolerancia a la hemodiálisis y sobre un síndrome frecuente pero poco estudiado como es la fatiga postdiálisis. La disminución de la temperatura del baño a 35,5° C se acompañó de mayor estabilidad hemodinámica, mejoría de la percepción de la sintomatología en diálisis y disminución de la intensidad y duración del síndrome de fatiga postdiálisis. Pero el beneficio clínico no fue universal sino que se circunscribió a los enfermos con peor tolerancia a la hemodiálisis con temperatura habitual de baño de 37° C. En el resto de los enfermos, la hemodiálisis fría no aportó ventaja alguna e incluso empeoró la apreciación de la sintomatología en hemodiálisis. De hecho el 29% de los enfermos

prefirió seguir dializándose con una temperatura de baño de 37° C. Nuestra conclusión fue que la hemodiálisis fría debe reservarse para los enfermos que tengan una alta incidencia de hipotensiones o un síndrome de fatiga postdialisis relevante con la temperatura de baño habitual.

### INDIVIDUALIZACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL BAÑO DE HEMODIÁLISIS

La temperatura corporal central tiene unos márgenes de tolerancia muy estrechos. Entre el umbral que provoca vasodilatación periférica y el umbral que desencadena la aparición de escalofríos, la distancia es inferior a 1° C<sup>9,26</sup>. La hemodiálisis fría con temperatura fija del líquido de diálisis en 35,5° C no es isotérmica en todos los enfermos; en muchos casos produce hipotermia central que aunque leve es mal tolerada<sup>20</sup>.

Como la temperatura corporal de los enfermos no es uniforme se pensó adaptar la temperatura del baño a su temperatura basal. En un estudio se observó que los enfermos que se benefician de la hemodiálisis fría son aquellos que tienen una temperatura más baja<sup>8</sup>. Estos resultados no han sido confirmados posteriormente<sup>17</sup>. La temperatura corporal no es suficiente para determinar la temperatura del baño. La generación de calor durante la hemodiálisis depende de la tasa de ultrafiltración<sup>12</sup> y del descenso relativo del volumen de sangre<sup>15</sup>. Por tanto la temperatura de la solución de diálisis adecuada para conseguir una hemodiálisis isotérmica no solo es diferente para cada enfermo sino que cambia de una sesión a otra.

El monitor de temperatura puede actuar como un biocontrol que va modulando la temperatura del baño en función de la evolución de la temperatura corporal<sup>12,15,23</sup>. Con este procedimiento de retroalimentación se intenta mantener estable la temperatura corporal con lo cual se preservarían los beneficios hemodinámicos de la hemodiálisis fría sin efectos indeseables secundarios a hipotermia. En la actualidad es el único sistema que permite conseguir una hemodiálisis verdaderamente isotérmica en todos los enfermos y en todas las sesiones de hemodiálisis. A pesar de ello, la sensación de frío persiste en el 5% de las sesiones con hemodiálisis isotérmica<sup>23</sup>.

En relación con la hemodiálisis fría con temperatura fija de baño, el biocontrol de temperatura presenta evidentes ventajas teóricas, pero los beneficios clínicos referentes a la estabilidad hemodinámica están por demostrar. Se ha comprobado que los efectos sobre la reactividad vascular arterial y venosa son

similares con ambos tipos de hemodiálisis<sup>24</sup>, y no hay estudios que comparen los resultados clínicos entre la hemodiálisis isotérmica con el monitor de temperatura y la hemodiálisis con temperatura baja de baño.

### CONCLUSIONES

Los avances conseguidos en la técnica de hemodiálisis y en el tratamiento de la insuficiencia renal crónica han mejorado la tolerancia al tratamiento, pero todavía la incidencia de hipotensiones es alta en muchos enfermos. La hemodiálisis fría con temperatura fija de baño y la hemodiálisis isotérmica con biocontrol de temperatura proporcionan una mejor respuesta hemodinámica a la ultrafiltración, pero a costa de una mayor pérdida de energía. Un balance energético negativo en una sesión de hemodiálisis no tiene una repercusión clínica inmediata. El efecto a más largo plazo de estas pérdidas energéticas reiteradas está por determinar.

Una actitud razonable sería comenzar el tratamiento con hemodiálisis crónica con una temperatura de baño de 37° C. En los enfermos con una alta tasa de hipotensiones o con un síndrome de fatiga postdialisis importante se podría aplicar la hemodiálisis isotérmica con biocontrol y en caso de no disponer de esta tecnología, reducir paulatinamente la temperatura del baño hasta un mínimo de 35,5° C valorando la respuesta hemodinámica y la tolerancia al descenso de temperatura<sup>27</sup>.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Passlick-Deetgen J, Bedenbender-Stoll E: Why thermosensing? A primer on thermoregulation. *Nephrol Dial Transplant* 20: 1784-9, 2005.
2. Maggiore Q, Pizzarelli F, Zoccali C, Sisca S, Nicolo F, Parlongo S: Effect of extracorporeal blood cooling on dialytic arterial hypotension. *Proc Eur Dial Transplant Ass* 18: 597-602, 1981.
3. Sherman RA, Rubin MP, Cody RP, Eisinger RP: Amelioration of hemodialysis-associated hypotension by the use of cool dialysate. *Am J Kidney Dis* 5: 124-7, 1985.
4. Quereda C, Marcén R, Lamas S, Hernández-Jodrá M, Orofino L, Sabater J, Villafruela JJ, Ortuño J: Hemodialysis associated hypotension and dialysate temperature. *Life Support Syst* 3 (Supl. 1): 18-22, 1985.
5. Orofino L, Marcén R, Quereda C, Villafruela JJ, Sabater J, Matanzas R, Pascual J, Ortuño J: Epidemiology of symptomatic hypotension in hemodialysis patients: is cool dialysate beneficial for all patients? *Am J Nephrol* 10: 177-80, 1990.
6. MacKowiak P, Worden G: Carl Reinhold August Wunderlich and the evolution of clinical thermometry. *Clin Infect Dis* 18: 458-67, 1994.
7. Sund-Levander M, Forsberg C, Wahren LK: Normal oral, rectal tympanic and axillary body temperature in adult men and women: a systematic literature review. *Scand J Caring Sci* 16: 122-8, 2002.

8. Fine A, Penner B: The protective effect of cool dialysate is dependent on patients' predialysis temperature. *Am J Kidney Dis* 28: 262-5, 1996.
9. Pèrgola PE, Habiba NM, Johnson JM: Body temperature regulation during hemodialysis in long-term patients: is it time to change dialysate temperature prescription? *Am J Kidney Dis* 44: 155-65, 2004.
10. Ikizler TA, Wingard RL, Sun M, Harvell J, Parker RA, Hakim RM: Increased energy expenditure in hemodialysis patients. *J Am Soc Nephrol* 7: 2646-53, 1996.
11. Gotch FA, Keen ML, Yarian SR: An analysis of thermal regulation in hemodialysis with one and three compartment models. *ASAIO Trans* 35: 622-4, 1989.
12. Rosales LM, Schneditz D, Morris AT, Rahmati S, Levin NW: Isothermic hemodialysis and ultrafiltration. *Am J Kidney Dis* 36: 353-61, 2000.
13. Schneditz D, Levin NW: Keep your temper: how to avoid heat accumulation in haemodialysis. *Nephrol Dial Transplant* 16: 7-9, 2001.
14. Morris AT, Schneditz D, Fan Z, Kaufman AM, Levin N.: Dialysate temperatura is not the sole determinant of extracorporeal blood cooling during hemodialysis. *J Am Soc Nephrol* 7: 1414 (Abstract), 1996.
15. Schneditz D, Rosales L, Kaufman AM, Kaysen G, Levin NW: Heat accumulation with relative blood volume decrease. *Am J Kidney Dis* 40: 777-82, 2002.
16. Krämer M, Polaschegg HD: Control of blood temperature and thermal energy balance during hemodialysis. *Proc Annu Int Conf IEEE EMBS* 14: 2299-300, 1992.
17. Van der Sande FM, Kooman JP, Burema JHGA, Hameleers P, Kerkhofs AMM, Barendregt JM, Leunissen KML: Effect of dialysate temperature on energy balance during haemodialysis: quantification of energy transfer from the extracorporeal circuit to the patient. *Am J Kidney Dis* 33: 1115-21, 1999.
18. Kaufman AM, Morris AT, Lavarias VA, Wang Y, Leung JF, Glabman MB, Yusuf SA, Levoci AL, Polaschegg HD, Levin NW: Effects of controlled blood cooling on hemodynamic stability and urea kinetics during high-efficiency hemodialysis. *J Am Soc Nephrol* 9: 877-883, 1998.
19. Barendregt JNM, Kooman JP, Van der Sande FM, Buurma JHGA, Hameleers P, Kerkhofs AMM, Leunissen KML: The effect of dialysate temperature on energy transfer during hemodialysis. *Kidney Int* 55: 2598, 1999.
20. Keijman JMG, Van der Sande FM, Kooman JP, Leunissen KML: Thermal energy balance and body temperature: comparison between isolated ultrafiltration and haemodialysis at different dialysate temperatures. *Nephrol Dial Transplant* 14: 2196-200, 1999.
21. Van der Sande FM, Coman JP, Konings CJ, Leunissen KML: Thermal effects and blood pressure response during postdilution hemodiafiltration and hemodialysis: the effect of amount of replacement fluid and dialysate temperature. *J Am Soc Nephrol* 12: 1916-20, 2001.
22. Schneditz D, Martin K, Krämer M, Kenner Th, Skrabal F: Effect of controlled extracorporeal blood cooling on ultrafiltration-induced blood volume changes. *J Am Soc Nephrol* 8: 956-64, 1997.
23. Maggiore Q, Pizzarelli F, Santoro A, Panzetta G, Bonforte G, Hannedouche T, Álvarez de Lara M<sup>a</sup>.A<sup>a</sup>, Tsouras I, Loureiro A, Ponce P, Sulková S, van Roost G, Brink H, Kwan JTC: The effects of control of thermal balance on vascular stability in hemodialysis patients: results of the European Randomized Clinical Trial. *Am J Kidney Dis* 40: 280-90, 2002.
24. Van der Sande FM, Gladziwa U, Kooman JP, Böcker G, Leunissen KML: Energy transfer is the single most important factor for the difference in vascular response between isolated ultrafiltration and hemodialysis. *J Am Soc Nephrol* 11: 1512-17, 2000.
25. Teruel JL, Martins J, Merino JL, Fernández-Lucas M, Rivera M, Marcén R, Quereda C, Ortuño J: Temperatura del baño y tolerancia a la hemodiálisis. *Nefrología* (en prensa) 2006.
26. Brengelmann GL, Savage MV: Temperature regulation in the neutral zone. *Ann N Y Acad Sci* 813: 39-50, 1997.
27. Van der Sande FM, Kooman JP, Leunissen KM: Haemodialysis and thermoregulation. *Nephrol Dial Transplant* 21: 1450-1, 2006.