

La fisiología de la termorregulación

CARLOS ALCOCER C.*

LA TEMPERATURA corporal sufre variaciones en el curso del día, consistentes en un descenso nocturno que alcanza su grado mínimo hacia las 6 a.m.; a partir de esa hora, empieza a elevarse, para alcanzar la máxima aproximadamente a las 6 p.m., para reiniciar el ciclo; estas variaciones son del orden del 1° C más o menos.

El ejercicio muscular violento produce en los individuos normales, elevaciones de 2 o 3 grados C.

Existen además, diferencias que dependen del sitio en donde se registre la temperatura corporal: la temperatura rectal es ligeramente superior (0.6° C) que la temperatura oral o axilar. La temperatura cutánea es de una extraordinaria variabilidad; mientras que la temperatura profunda, por el contrario, presenta sólo muy pequeñas variaciones aún frente a grandes cambios de la temperatura ambiente y es precisamente esta temperatura profunda la que se regula por medio de los diferentes procesos de ajuste.

En condiciones normales, la cantidad de calor que se produce por las combustiones orgánicas es igual a la cantidad de calor que se pierde por los diferentes procesos de transferencia con el medio.

PROCESOS FÍSICOS DE PÉRDIDA DE CALOR

Existen cuatro procesos físicos, por medio de los cuales pierde calor un cuerpo caliente, transfiriéndolo hacia el medio ambiente:

* Profesor e investigador de tiempo completo. Departamento de Fisiología. Facultad de Medicina. México.

Radiación. Consiste en la transferencia térmica de la superficie de un cuerpo hacia otro, sin que necesariamente exista un medio físico entre ellos. Este proceso se lleva a cabo aún en el vacío y sólo requiere que exista una diferencia o gradiente de temperatura, entre los cuerpos que transfieren el calor. De acuerdo con esto, la superficie corporal pierde calor, si los objetos que lo rodean están más fríos que dicho cuerpo; pero la radiación puede efectuarse en sentido inverso, esto es, desde un medio más cálido hacia la superficie corporal. Esta circunstancia explica el por qué de la necesidad que tienen los habitantes del desierto de abrigarse con ropas gruesas, para evitar el sobrecalentamiento del cuerpo.

Conducción. Es la transferencia de calor que se efectúa entre el cuerpo y el medio con el que está en contacto, siempre que ese medio no esté en movimiento. Se pierde o se gana calor, de acuerdo con este proceso, a través del aire y de las ropas que están en contacto con la piel, así como por los líquidos o alimentos ingeridos.

En esta modalidad también se requiere un gradiente de temperatura que determine el sentido en el cual se transfiere el calor: cuando se hace una inmersión en agua más fría que la piel, la transferencia se hace hacia el medio, es decir, se pierde calor; en cambio, durante la inmersión en agua más caliente que la piel, se gana en vez de perderse calor.

Convección. Consiste en la transferencia térmica entre un cuerpo y el medio fluido en movimiento.

La convección puede ser natural o forzada: lo primero, cuando el medio gaseoso que envuelve el cuerpo se desplaza por efecto de la diferente densidad que tiene el aire caliente, comparado con el frío; lo segundo, cuando intervienen otras fuerzas que aceleran el desplazamiento natural del medio fluido. Como ejemplo de estas modalidades de proceso físico tenemos: *a*) la pérdida de calor que ocurre durante la ventilación pulmonar, en la cual existe una serie alternada de movimientos del aire que se desplaza sobre las mucosas del árbol respiratorio; *b*) el ascenso del aire caliente que ha estado en contacto con la piel, ventila la superficie corporal desnuda; *c*) el arrastre de calor provocado por una corriente de aire, como ejemplo, cuando una persona se abanica.

Evaporación. Por medio de este proceso físico se pierde calor por el gasto de energía consumida en transformar el agua que humedece la

piel y las mucosas, en vapor de agua. A una temperatura de 33° C, cada gramo de agua que se evapora de la superficie corporal absorbe 0.58 Kcal. La velocidad con la que se produce la evaporación depende del índice higrométrico del aire ambiente. Por este motivo, el aire seco de los climas desérticos previene más fácilmente del sobrecalentamiento, que las ambientes húmedos y cálidos.

PROCESOS FISIOLÓGICOS

El mantenimiento de la constancia térmica corporal implica una serie de reacciones que ajusten continuamente la cantidad de calor que se produce en el organismo con la cantidad de calor que se pierde. La realización de este equilibrio se consigue mediante:¹ La participación de estructuras sensibles a los cambios térmicos, los termorreceptores, punto de partida de los impulsos aferentes que van a determinar, por una parte, la percepción de los cambios de temperatura y por otra, el desencadenamiento de las respuestas termorreguladoras.² La integración de dichos impulsos aferentes, realizada a diferentes niveles del sistema nervioso central.³ El conjunto de respuestas efectoras, cuyo resultado es el balance térmico entre las pérdidas y las ganancias de calor corporal.

Termorreceptores. Existen dos grupos de estructuras termorreceptivas:

- a) Periféricas.
- b) Centrales.

Las primeras se encuentran distribuidas en la piel y en las mucosas y se activan por variaciones térmicas, que corresponden a las sensaciones de frío y de calor. Se ha supuesto que los receptores específicos para el frío son las terminaciones de Krause y que los receptores para el calor son las terminaciones de Ruffini.

En cuanto al mecanismo de activación de estos receptores, el estímulo adecuado es, para los receptores al frío, un descenso térmico del orden de 0.004° C/seg.; y para los de calor, un ascenso de 0.001° C/seg.

Los termorreceptores centrales está localizados en el hipotálamo anterior, en las áreas supraóptica. El calentamiento localizado a estas porciones del hipotálamo produce sudoración, polipnea y vasodilatación cutánea. Se considera que estos receptores centrales son similares a

los receptores cutáneos para el calor, ya que su máxima actividad se registra por los aumentos de temperatura un poco superiores a la temperatura central.

Integración central de las respuestas termorreceptivas. La destrucción del hipotálamo produce, en los animales homeotermos, una profunda alteración de los mecanismos termorreguladores. En la clínica se ha observado igualmente, que los tumores de esta región, así como cualquiera otra lesión hipotalámica conducen a una situación de incapacidad para mantener la constancia de la temperatura corporal. Por otra parte, la estimulación eléctrica de estas mismas estructuras diencefálicas, provoca una gran variedad de respuestas vegetativas y somáticas, relacionadas con el mantenimiento de la temperatura del cuerpo.

Existen dos centros hipotalámicos, anatómica y funcionalmente diferentes: uno, localizado en el hipotálamo anterior, que integra las respuestas de protección contra el calor; otro, localizado en el hipotálamo posterior, relacionado con la protección contra el enfriamiento. Ambos centros están organizados de acuerdo con el principio de inervación recíproca, reciben los impulsos aferentes de los termorreceptores e integran las respuestas efectoras que se verán más adelante.

Los experimentos consistentes en estimulaciones eléctricas, a través de electrodos implantados a permanencia y en lesiones circunscritas a diferentes estructuras nerviosas cerebrales, demuestran que las áreas hipotalámicas señaladas son las estructuras encargadas de la integración nerviosa central de la termorregulación, que consiste en una complicada serie de respuestas sobre los procesos de producción de calor (cambios del metabolismo basal, de la actividad muscular, etc.) y sobre los procesos de pérdida (sudoración, ventilación pulmonar, vasodilatación cutánea, etc.). Esto quiere decir que ni la corteza cerebral ni otras regiones del prosencéfalo son necesarias para mantener la constancia de la temperatura corporal.

Respuestas efectoras.

a) *Respiración.* Las reacciones contra el sobrecalentamiento se acompañan de hiperpnea, con aumento de la ventilación alveolar.

Aunque las estructuras hipotalámicas son las más importantes en la integración de las respuestas respiratorias, relacionadas con la termorregulación, los procesos de regulación de origen bulbar, también están influidos por los cambios de temperatura corporal. El aumento de

ventilación pulmonar favorece varios de los procesos físicos de transferencia térmica, o sean las pérdidas por convección forzada y las pérdidas por evaporación, a nivel de las mucosas respiratorias. El jadeo es, en consecuencia, un mecanismo de ajuste importante, aun cuando puede implicar un resultado desventajoso, en relación con otro aspecto de la regulación homeostática, esto es: las alteraciones en la concentración de los gases respiratorios y en el equilibrio ácido-básico de la sangre, ya que la hiperpnea puede, en ocasiones, inducir hipocapnea y alcalosis.

b) Circulación cutánea y circulación venosa. La vasoconstricción y la vasodilatación cutáneas regulan la temperatura de la piel, lo cual, como se vió ante, determinan el sentido de la transferencia por los procesos físicos de irradiación, convección y conducción.

La exposición a un ambiente cálido o el aumento de los procesos metabólicos producen como respuesta, vasodilatación con el consiguiente calentamiento de la piel. Esto, a su vez, puede modificar el gradiente térmica piel-medio y favorecer la pérdida de calor.

La circulación venosa también se altera en las mismas condiciones: los cambios consisten en que la sangre venosa de los miembros se deriva principalmente por las venas superficiales. Esta circunstancia favorece el enfriamiento de la sangre, por estar mayor tiempo cerca de la superficie, a través de la cual se irradiará el calor. En efecto, la determinación de la temperatura de la sangre en las venas del dorso de la mano y en la basilica o cefálica, demuestra que en el trayecto por el miembro superior, la temperatura ha bajado varias décimas de grado. Durante la exposición al frío, se produce vaso constricción cutánea y derivación de la circulación de retorno por las venas centrales. La consecuencia de esto es la prevención contra el enfriamiento: *a)* la vasoconstricción hace disminuir la cantidad de calor transportado a la superficie y por consiguiente, la disminución del gradiente térmico piel-medio; *b)* la derivación de la circulación de retorno por las venas centrales, permite aprovechar el calor de la sangre arterial, para calentar la sangre de las dos venas que acompañan a cada arteria; en consecuencia, la sangre que llega a las extremidades se ha enfriado y la sangre que retorna al corazón está menos fría.

c) Sudoración. La exposición al calor, así como el calentamiento localizado de las áreas hipotalámicas anteriores o su estimulación eléctrica, producen sudoración. Este fenómeno, acompañado del calenta-

miento cutáneo, favorece la evaporación; lo cual, como se vió antes, es un proceso de transferencia térmica de gran importancia.

d) Tono y Contracciones musculares. Una de las primeras respuestas que se presentan cuando un sujeto se expone a los ambientes extremos de frío o de calor es la modificación del tono muscular: *a)*. en el primer caso aumenta el tono y aún, si esta respuesta es insuficiente, se presentan contracciones fásicas alternadas e isométricas de los músculos esqueléticos, esto es los estremecimientos o tiritones del calor-frío. Es importante recalcar que dichas contracciones se realizan en forma isométrica, puesto que en esta modalidad de la actividad muscular, toda la energía potencial del músculo se transforma en calor; *b)*. durante la exposición al calor, el tono muscular disminuye y esto se traduce en una menor producción de calor.

e) Metabolismo. Los cambios de la temperatura cutánea, inducidos por enfriamiento o por calentamiento provocan: *a)*. alteraciones en la producción de catecolaminas médulosuprarrenales. Se sabe por otra parte, que la inyección de epinefrina tiene un efecto calorigénico importante, así como un efecto vasoconstrictor cutáneo; *b)*. alteraciones en la secreción de las hormonas tiroideas y, por lo tanto, cambios en la tasa del metabolismo basal; *c)*. modificaciones en la secreción de la hormona adenocorticotrófica, lo que induce una serie de efectos sobre la temperatura corporal, tales como el efecto antipirético y efectos sobre el metabolismo de los carbohidratos.