

TERMOTERAPIA

J.M. Pastor Vega

CALOR Y TEMPERATURA

Durante el último cuarto del siglo pasado se desarrolló casi definitivamente la «teoría del calor» y la correlación de la ley fundamental de la termodinámica, con la idea de que el calor es la energía del movimiento de las moléculas de que están formados los cuerpos materiales. Hacia mediados del siglo XIX, Maxwell y Boltzmann elaboraron las formulaciones matemáticas y establecieron la teoría cinética de los gases. Dicha teoría mostró la equivalencia entre el calor y el movimiento de las moléculas. De esta forma, definitivamente se interpretó el calor como un fenómeno de vibratilidad.

En definitiva, el calor es una forma de energía que poseen todos los objetos materiales. Cuando un objeto se calienta, sus moléculas vibran con más energía, aumentan su movimiento y, por tanto, su energía cinética. Al enfriarse, un objeto caliente pierde energía térmica, pero no pierde todo su calor, simplemente tiene menos energía térmica que antes.

Al calentar un objeto, la energía térmica es absorbida por sus moléculas. Si se trata de un sólido, sus moléculas vibran con más energía; si se suministra suficiente energía, pueden romperse los enlaces intermoleculares y el sólido se funde y pasa a estado líquido. Cuanto más fuertes son las uniones moleculares, más energía térmica se requerirá para producir su fusión; ello significa que la sustancia tiene un punto muy elevado de fusión.

En el estado líquido las moléculas pueden moverse libremente dentro de su medio. Cuando un líquido se calienta, sus moléculas se mueven gradualmente, con más rapidez, y llega un momento en que el líquido hierve. También el punto de ebullición será más elevado donde las fuerzas intermoleculares sean más intensas.

Al ser el calor una forma de energía, éste se produce por conversión de otras formas de energía. La energía cinética, por ejemplo, produce calor por rozamiento; una estufa eléctrica convierte la energía eléctrica en calor a través de una resistencia; las radiaciones luminosas, como la infrarroja, al absorberse en la piel producen calor por conversión de energía electromagnética en energía térmica; lo mismo ocurre con la onda corta y las microondas. La energía química se convierte en calor durante la combustión. Las ondas mecánicas, como los ultrasonidos, también producen calor, ya que las ondas de presión asociadas producen agitación molecular y consecuentemente, calor por fricción.

También la energía térmica puede convertirse en otras formas de energía. Las transformaciones de energía térmica proceden a la inversa, absorbiendo calor y produciendo energía de otro tipo. Así, por ejemplo, un par térmico convierte la energía térmica en eléctrica liberando electrones, y el calor se convierte en energía cinética en cualquier máquina térmica, como la de vapor. Un objeto incandescente convierte algo de su calor en radiación luminosa, y un relámpago lo convierte en luz y en sonido. En fin, muchas reacciones químicas absorben calor para la formación (síntesis) de diferentes productos.

Ya podemos comprender fácilmente la diferencia entre calor y temperatura. Calor es la energía total contenida en los movimientos moleculares de un determinado material. La

temperatura representa la velocidad promedio (energía cinética promedio) del movimiento molecular en ese material.

Cuando la temperatura de un objeto desciende, disminuye el movimiento de sus moléculas. Únicamente a la temperatura del cero absoluto ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$) llegaría un objeto al no poseer energía térmica en absoluto. Pero esta temperatura no puede alcanzarse en la práctica, por lo que cualquier objeto posee cierta cantidad de energía térmica.

Existen tres escalas de temperatura. La de empleo más corriente en la mayor parte del mundo es la escala Celsius (centígrada). En esta escala, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ es la temperatura de solidificación del agua y $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ es la de ebullición.

La escala Fahrenheit se emplea todavía en algunos países. En esta escala el punto de congelación del agua está en los $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ y el de ebullición en los $212\text{ }^{\circ}\text{F}$. La relación entre la temperatura Celsius T_c y la Fahrenheit T_f viene dada por:

$$T_c = 5/9 (T_f - 32\text{ }^{\circ}\text{F})$$

La escala que se utiliza en física es la escala termodinámica absoluta o de Kelvin, basada en la energía térmica que poseen los cuerpos y que, operativamente, coincide con la escala de temperatura de los gases ideales. Esta escala tiene dos puntos fijos, que son valores dados a temperaturas precisas, en las que se producen efectos determinados. El más bajo es el cero absoluto, temperatura a la que la molécula tiene una energía térmica igual a cero. La existencia de este mínimo de temperatura hace conveniente definir una temperatura absoluta o temperatura Kelvin (T), medida a partir del cero absoluto:

$$T = T_c + 273.15$$

El cero absoluto de esta escala es $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

CALOR ESPECÍFICO

La capacidad calorífica específica o calor específico (c) es la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia.

El calor específico varía de una sustancia a otra y de una gama de temperatura a otra. El calor específico del agua es mínimo a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ y aumenta proporcionalmente cuanto más nos alejamos de esta temperatura. A temperatura ambiente la capacidad calorífica específica del agua es superior a la de cualquier líquido o sólido, con excepción del litio.

La capacidad calorífica específica elevada del agua implica que ésta mantiene muy bien su temperatura o, lo que es lo mismo, que la pierde con gran dificultad, razones por las que se utiliza como medio efectivo de calentamiento o enfriamiento.

En otros casos, el calor suministrado se utiliza en la producción de un cambio de fase (sólido a líquido, líquido a gas, etc). Generalmente estos cambios se producen a una temperatura determinada (temperatura de fusión, de ebullición, etc.). El calor latente se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a un gramo de sustancia para que ésta cambie totalmente de fase.

La unidad tradicional de calor es la caloría: el calor que debe suministrarse a un gramo de agua a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ para aumentar su temperatura un grado centígrado. Una caloría equivale a 4,19 julios.

TRANSFERENCIA TÉRMICA

El ser humano se encuentra expuesto a variaciones, tanto de la temperatura ambiental como interna; al ser un organismo homeotermo, debe mantener su temperatura interna relativamente constante, cercana a los 37 °C.

La temperatura corporal no es uniforme. Así, la temperatura cutánea (superficial) es diferente en las diferentes regiones corporales y varía entre 29 y 34 °C. A cierta profundidad de la piel, la temperatura se hace uniforme: temperatura profunda. Esta temperatura, en condiciones normales, es de 37 °C aproximadamente. La temperatura rectal constituye una buena referencia. Al existir una diferencia de 5 a 10 °C entre la temperatura superficial y la profunda, se establece un gradiente de temperatura.

La temperatura corporal depende del balance entre dos procesos: la producción de calor por las funciones que tienen lugar en el organismo (termogénesis) y la pérdida de energía térmica del cuerpo hacia el exterior (termólisis).

El calor producido en el organismo es eliminado o transferido al ambiente por una serie de mecanismos: conducción, convección, radiación y evaporación. Vamos a comentar algunos aspectos de estos mecanismos, ya que en muchas aplicaciones termoterápicas y crioterápicas constituyen los principales mecanismos de transferencia (calentamiento) o de abstracción (enfriamiento) de energía térmica.

Por radiación se produce el 60% de la pérdida calórica total, por conducción y convección el 15% y por evaporación el 25%, aproximadamente, porcentaje que varía con la temperatura ambiental.

Conducción

La conducción térmica es un mecanismo de intercambio de energía interna entre áreas de diferentes temperaturas, en las que el intercambio de energía cinética de partícula a partícula se produce por colisión molecular directa y por desplazamiento de electrones libres en los metales. La energía térmica pasa desde las moléculas con mayor energía (regiones más calientes) a las moléculas con menor energía (regiones más frías), de forma que se produce una aproximación gradual a una temperatura común. Así pues, la conducción es un mecanismo de intercambio de energía térmica entre dos superficies en contacto, basado en el traslado de energía por medio del movimiento y la colisión entre átomos en un medio material sin movimiento. La conducción se produce entre los diferentes tejidos del cuerpo o a través de un cuerpo hacia otro en contacto con el primero, sin desplazamiento visible de materia.

La formulación básica para la conductividad térmica en un sólido fue establecida por Fourier en 1822. La cantidad de calor (H) transferido por unidad de tiempo desde un cuerpo de temperatura T_1 a otro de temperatura T_2 , conectados mediante una barra de longitud y área transversal A, es:

$$H = kA (T_1 - T_2) / l$$

La constante de proporcionalidad (k) se denomina conductividad térmica.

En general, la conductividad de los sólidos es casi 100 veces superior a la de los líquidos y la de éstos es cerca de 100 veces superior a la de los gases (tabla 6.1). Los metales son buenos conductores térmicos, debido a que su estructura atómica se caracteriza por la presencia de electrones libres, capaces de moverse entre los átomos que constituyen el metal en su conjunto.

Los tejidos del cuerpo humano presentan, en general, una baja conductividad térmica; se comportan como aislantes térmicos. Las propiedades térmicas de los tejidos dependen, en gran medida, de su contenido relativo en lípidos, proteínas y agua. Puede demostrarse que la conductividad térmica varía según el contenido en agua del tejido. Los tejidos con gran contenido en agua (músculos, sangre...) presentan una mayor conductividad que aquellos con menor proporción de agua en su composición (grasa, tendones, ligamentos...).

En materiales biológicos, dado que resulta difícil separar el intercambio de calor que se produce por conducción del producido por convección por la perfusión sanguínea, suele hablarse de conductividad efectiva o aparente (k_{ef}) que incluye la contribución del flujo sanguíneo.

Uno de los aislantes más importantes es el aire: su conductividad es mucho menor que la del agua. Si se interpone aire entre un agente termoterápico y la piel, el calor se transmitirá difícilmente. Por ello, cuando se utilizan agentes termoterápicos conductivos, deben estar en contacto con la piel, y hay que procurar utilizar como medios envolventes materiales de buena conductividad térmica.

Convección

La convección consiste en la transferencia de calor que tiene lugar en un líquido (agua, sangre, aire...). Aunque en los líquidos y gases una parte de calor se transfiere por conducción, una mayor cantidad se hace por convección, debido a los gradientes de densidad creados por la temperatura (corrientes de convección) en la masa de líquido. Si el movimiento del líquido se produce por las diferencias de temperatura en sí mismo, el proceso se denomina convección libre o natural; cuando el movimiento se debe a un agente externo (aire, ventilador, agitador, etc.), se habla de convección forzada. La conducción pura se observa infrecuentemente en un líquido, debido a la facilidad con la que incluso pequeñas diferencias de temperatura producen corrientes de convección libre.

En el cuerpo humano se produce transporte de calor desde la profundidad hacia la superficie corporal, por conducción y convección. El mecanismo convectivo, en el que desempeña un papel fundamental la circulación sanguínea, actúa a modo de radiador, y es la causa principal de que a corta distancia de la piel la temperatura central sea prácticamente uniforme.

Resulta complejo establecer una formulación para la convección, por cuanto existen variaciones según el estado de movimiento del líquido y de factores geométricos. En aire en calma puede hacerse una formulación aproximada, de forma que la transmisión de calor por convección desde un área superficial A viene dada por la expresión:

$$q = hA \Delta t$$

donde ΔT es la diferencia de temperatura entre la superficie y el líquido lejano de la superficie y h es el coeficiente de transferencia de calor por convección; éste depende de la forma y orientación de la superficie, de las propiedades del líquido y hasta cierto punto, de

la temperatura. Para un hombre desnudo rodeado de aire, su valor medio es de $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ kcal s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

El calor producido en el interior del cuerpo debe ser transferido hacia las capas exteriores. A tal efecto no es suficiente la conductividad del calor a través de los tejidos, en general malos conductores; se necesita un mecanismo de transporte más efectivo. La sangre, además de otras funciones, actúa como medio de transporte para llevar a la periferia corporal el calor producido en los órganos internos y en los músculos. La piel posee una doble función en la termorregulación. Por una parte, la abundancia de grasa subcutánea (de baja conductividad térmica) actúa como aislante térmico. Por otra, frente a elevaciones de temperatura actúa como un radiador gracias a la regulación del plexo venoso subcutáneo, con lo que se produce un aumento de flujo sanguíneo desde la profundidad hacia la superficie corporal; ello favorece la pérdida de calor hacia el exterior.

En las extremidades, especialmente se produce intercambio de calor entre las arterias y las venas profundas que se encuentran en contacto (mecanismo de contracorriente).

Radiación

En condiciones basales, el mecanismo termolítico de mayor importancia es el de radiación. La conducción y convección necesitan de algún material, sea sólido, líquido o gaseoso; sin embargo, sabemos que el calor también puede transmitirse a través del vacío. El proceso por el que se produce dicho transporte se denomina radiación.

En este caso, el transporte de calor se produce por emisión o absorción por parte del organismo de radiación electromagnética. En un objeto caliente, las cargas de los átomos oscilan a gran velocidad, emitiendo energía en forma de ondas electromagnéticas. La energía transportada por estas ondas depende del movimiento de las cargas y, por tanto, de la temperatura.

En principio, todos los objetos a temperatura no nula emiten cierta radiación en forma de espectro continuo (fig. 6.1). Sin embargo, la cantidad de energía emitida para cada longitud de onda depende de la temperatura. Por tanto, la emisión de energía térmica por parte de un cuerpo caliente se produce a una longitud de onda a la que la radiación es más intensa. Dicha longitud de onda máxima viene dada por la ley del desplazamiento de Wien:

$$\lambda_{\text{max}} T = B$$

Expresando la temperatura (T) en grados Kelvin y la longitud de onda (λ) en metros, la constante B tiene un valor de $2,898 \times 10^{-3} \text{ mK}$. Por tanto, se cumple:

$$\lambda_{\text{max}} T = 2.898$$

Cuanto más elevada sea la temperatura, menores serán las longitudes de onda de las radiaciones emitidas. Para temperaturas bajas, la emisión resulta casi exclusivamente infrarroja; conforme aumenta la temperatura, se produce la emisión de radiación visible e incluso ultravioleta.

En la figura 6.1 se observa cómo el área que encierran las curvas aumenta rápidamente al hacerlo la temperatura. El área representa la energía emitida por segundo. La cantidad de energía (calor) emitida por una superficie de área A a temperatura absoluta T viene dada por la Ley de Stephan-Boltzman:

$$E = e \sigma AT^4$$

donde σ es una constante universal igual a $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$. La magnitud e se denomina emisividad y se encuentra comprendida entre 0 y 1. De acuerdo con la ley anterior, la cantidad total de energía emitida aumenta con la cuarta potencia de la temperatura absoluta.

El poder absorbente, así como el poder emisivo de un cuerpo, se encuentra en función, no sólo de su temperatura, sino de su naturaleza y de su superficie, ya que una superficie bruñida y brillante posee menor poder emisor y absorbente que otra rugosa y opaca. Un cuerpo es perfecto emisor cuando su emisividad es igual a la unidad ($e = 1$), por lo que la totalidad de la radiación que incide sobre él es absorbida. Como, a menos que se encuentre a temperatura lo bastante elevada como para emitir radiación visible, un objeto que absorbe toda la radiación incidente aparece como negro, al cuerpo emisor y absorbente perfecto se le denomina cuerpo negro. La energía térmica emitida por un cuerpo negro se distribuye por su espectro de longitudes de onda, donde el poder emisivo se encuentra en función de la longitud de onda y de la temperatura.

Considerando que la piel humana posee un comportamiento similar al de un cuerpo negro, se obtiene un valor para su emisividad de 0.993. Aplicando la primera ley de Wien, la longitud de onda máxima de la radiación emitida por la piel a 37°C (310°K) es, aproximadamente, de $10 \mu\text{m}$, emisión que corresponde al infrarrojo dentro del espectro electromagnético. El espectro de emisión de la piel se encuentra comprendido entre los 2 y los $20 \mu\text{m}$; se halla, por tanto, en la zona del espectro infrarrojo distal, lindando con el próximo.

La radiación infrarroja de interés médico es la emitida por el cuerpo humano que puede ser detectada -fundamento de la termografía- y la producida de forma natural o artificial con finalidad terapéutica, esencialmente para producir calentamiento superficial.

Evaporación

La evaporación es un mecanismo termolítico, en cierta medida variante de la convección, consistente en una transferencia de calor corporal por la vaporización del sudor y del agua en los pulmones, durante la espiración (perspiratio insensibilis). Cuando un gramo de agua se convierte en vapor a 30°C , se absorben 0.58 kcal (2.425 J) en el proceso (calor latente de evaporación). Se trata de un mecanismo imprescindible frente a temperaturas externas elevadas. La evaporación es casi independiente de la temperatura ambiental por debajo de los 30°C ; es aproximadamente de $12\text{-}15 \text{ g/m}^2\text{h}$, y casi la mitad se debe a la perspiración insensible.

Las pérdidas por evaporación aumentan linealmente conforme la temperatura ambiental supera los 30°C , lo que produce una sudación activa. En ambientes muy calurosos, la evaporación puede llegar a ser el mecanismo principal de pérdida de calor debido al importante aumento en la secreción de sudor y consecuentemente, de agua disponible para su evaporación en la piel.

Gracias a las casi $2.500.000$ glándulas sudoríparas, sometidas al control colinérgico, repartidas por la mayor parte de la superficie del cuerpo, se posibilita la evaporación del

sudor sobre una gran superficie. El sudor, al pasar de fase líquida a gaseosa, absorbe la energía térmica necesaria de la superficie cutánea y produce enfriamiento. El cuerpo humano puede llegar a producir hasta 10-15 litros diarios de sudor, especialmente durante el ejercicio físico intenso.

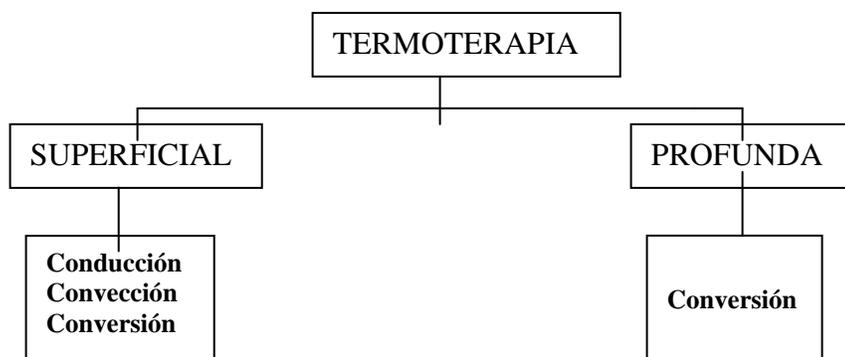
El grado de evaporación depende también del grado de humedad del aire ambiente y, por ello, se explica el que se sienta más calor en un día húmedo. Esto se debe, en parte, a que disminuye la evaporación del sudor; pero aun en condiciones en las que ésta sea total, una persona en un medio húmedo siente más calor que otra en un ambiente seco. La razón para esta diferencia puede radicar en la conductividad térmica del agua y en el hecho de que, en un ambiente húmedo, el sudor se extiende por un área mayor de piel antes de evaporarse, mientras que en un ambiente seco la mayor parte de este sudor se evapora. Así, el baño de vapor con poca ventilación disminuye considerablemente la evaporación del sudor y, por tanto, la pérdida calórica. Contrariamente, en una sauna donde la humedad interior es más baja pueden soportarse temperaturas más elevadas.

La conducción, convección y radiación pueden producir tanto pérdida como ganancia de calor por parte del organismo, mientras que la evaporación siempre produce pérdida de calor.

CONCEPTO DE TERMOTERAPIA

Dado que los conceptos de calor y frío no poseen significado físico, tomando como referencia la temperatura del cuerpo humano en condiciones basales, la elevación de temperatura se describe como calor o calentamiento y la disminución, como frío o enfriamiento.

Por termoterapia se entiende la aplicación del calor como agente terapéutico. El término crioterapia se reserva para las aplicaciones del frío con finalidad terapéutica. Según si el calentamiento se realiza superficialmente o en profundidad, se distinguen dos tipos de termoterapia: superficial y profunda. Por último, la termoterapia puede ser por conducción y convección térmica o por conversión de otras formas de energía en calor, de acuerdo con el mecanismo físico predominante de producción o transmisión de calor en los tejidos (fig. 6.2).



MEDIOS TERMOTERÁPICOS

Actualmente se dispone de una gran variedad de medios termoterápicos, que pueden clasificarse según diversos criterios. Los más empleados se basan en la profundidad de la acción térmica y en el mecanismo principal de transferencia de calor.

Los agentes y medios termoterápicos, según su profundidad de acción, se clasifican en superficiales y profundos. Los superficiales sólo producen un calentamiento de la superficie corporal, ya que su penetración es muy baja, por absorberse cutáneamente casi en su totalidad. Por ejemplo, la radiación infrarroja procedente de lámparas luminosas tiene una penetración entre 2 y 10 mm. Aunque se produzca paso de calor a tejidos más profundos (por conducción o por la acción convectiva de la circulación), sus acciones terapéuticas van a ser mediadas fundamentalmente por mecanismos reflejos, más que por un calentamiento directo de la zona. Por el contrario, los medios profundos producen efectos biológicos gracias al calentamiento directo de los tejidos situados en mayor profundidad. Este grupo incluye: onda corta, microondas y ultrasonidos.

Según el mecanismo principal, aunque no exclusivo de transmisión de calor la termoterapia puede ser por conducción y convección térmica, y por conversión de otras formas de energía en calor (tabla 6.2).

Tabla 6.2. Modalidades de termoterapia y agentes termoterápicos

	Conducción	Convección	Conversión
Superficial	Envolvuras y compresas Almohadillas eléctricas Bolsas calientes Arena caliente ... Parafina Peloides Parafangos	Baños, duchas calientes ... Sauna Baños de vapor Fluidoterapia	Infrarrojos
Profunda			Onda corta Microondas Ultrasonidos

La mayor parte de materiales empleados en termoterapia tienen como mecanismo principal de cesión de calor la conducción. Estos medios pueden ser sólidos (arena, envolturas secas, almohadillas y mantas eléctricas, objetos metálicos calientes, bolsas de agua caliente, hot-packs, etc.) y semilíquidos (peloides, parafina, parafangos).

La convección es otra de las formas de transmisión de calor de los agentes termoterápicos superficiales. Las modalidades termoterápicas por convección incluyen las aplicaciones hidroterápicas calientes, los baños de vapor de agua y aire seco (sauna), etc.

En el caso de la termoterapia por conversión, el calentamiento se produce por la transformación de otras formas de energía en energía térmica. Por ejemplo, en el caso de los ultrasonidos, la energía mecánica acaba degradándose, como consecuencia del rozamiento y la viscosidad del medio, y transformándose en calor.

Los agentes incluidos en la termoterapia por conversión son electromagnéticos (onda corta, microondas y radiación infrarroja) y mecánicos (ultrasonidos). La radiación infrarroja, incluida aquí, es un agente termoterápico superficial. En las modalidades restantes, los diversos tipos de energía, electromagnética y mecánica, penetran en tejidos situados a mayor profundidad; finalmente se transforman, mediante diferentes mecanismos, en calor. Por tanto, las corrientes de alta frecuencia y los ultrasonidos constituyen las diferentes modalidades actuales de termoterapia profunda (diatermia).

EFECTOS BIOLÓGICOS

Cuando se aplica calor, el cuerpo humano pone en marcha una serie de respuestas fisiológicas encaminadas a mantener su constancia térmica. Es necesario conocer algunas de las principales respuestas fisiológicas que se producen frente a una elevación de la temperatura, ya que —en definitiva— son las responsables de los efectos terapéuticos que se aceptan para las aplicaciones de calor en el campo de la medicina física:

1. Aumento de la extensibilidad del tejido conectivo.
2. Disminución de la rigidez articular.
- 3 Efecto analgésico.
4. Efecto antiespasmódico.
5. Efecto antiinflamatorio.

Efectos sobre la actividad metabólica y enzimática

Es bien conocido que la tasa de cualquier reacción química aumenta con el incremento de la temperatura. De acuerdo con la ley de Van't Hoff, la velocidad de una reacción química aumenta el doble o el triple por cada 10 °C de elevación de la temperatura. Se sabe que la tasa metabólica de los tejidos aumenta alrededor del 13% por cada grado de aumento de la temperatura. Sin embargo, cuando la temperatura sobrepasa un cierto umbral, normalmente 45-50 °C, los tejidos pueden dañarse e incluso sufrir quemaduras, ya que la actividad metabólica requerida para la reparación tisular no es capaz de evitar la desnaturalización proteica inducida por el calor. En efecto, los componentes proteicos de los sistemas enzimáticos son, generalmente, termosensibles y se destruyen cuando la temperatura sobrepasa un cierto umbral. Por tanto, en un principio, la elevación de temperatura producirá un aumento en la actividad enzimática, hasta llegar a un nivel máximo a partir del cual comenzará a disminuir; finalmente terminará por abolirse. En consecuencia, el metabolismo tisular podrá aumentar o disminuir, según la temperatura.

Si la temperatura se eleva en demasía durante un tiempo prolongado, las proteínas pueden desnaturalizarse; aparecen polipéptidos y sustancia con actividad histamínica, y se produce una respuesta inflamatoria, que puede ser leve o intensa.

Un aumento en la velocidad en las reacciones bioquímicas celulares conlleva efectos positivos: se produce un aumento en la captación de oxígeno por parte de los tejidos y, teóricamente, una llegada de más nutrientes, que contribuye positivamente a los fenómenos de cicatrización y reparación tisular.

Las aplicaciones de calor sobre la piel estimulan los termorreceptores cutáneos, que responden de 30 a 45 °C. Moritz y Henriques demostraron que temperaturas cutáneas superiores a los 45 °C producen daños en los tejidos, según el tiempo de aplicación y el nivel de temperatura. Por encima de los 45 °C, además de iniciarse el daño tisular, la sensación se vuelve dolorosa; la intensidad del dolor se incrementa conforme aumenta la temperatura de la piel.

El calentamiento de una zona limitada y con una intensidad muy superior a la de la tolerancia cutánea produce la destrucción tisular por quemadura. Este efecto es perseguido en cirugía con la cauterización por medio de onda corta (bisturí eléctrico) o por medio de láseres de alta potencia.

Efectos vasculares

El flujo sanguíneo cutáneo desempeña un importante papel en el mantenimiento de una temperatura corporal constante, y se encuentra sometido al control adrenérgico.

La aplicación local de calor ejerce, principalmente, un efecto sobre la circulación superficial. En la piel, la circulación cumple dos objetivos principales: nutrición de la piel y transmisión del calor desde estructuras internas del cuerpo hasta la piel. Existen estructuras vasculares destinadas a calentar la piel: plexo venoso subcutáneo y anastomosis arteriovenosas.

El plexo venoso subcutáneo contiene gran cantidad de sangre, que calienta la superficie cutánea y se comunica con las arterias nutricias por una serie de anastomosis arteriovenosas. Estas anastomosis, ricamente inervadas por fibras adrenérgicas, son numerosas en los dedos, superficie palmar y plantar, lóbulos de las orejas, nariz y labios. En las extremidades y tronco, la piel apenas posee anastomosis arteriovenosas; la regulación del flujo sanguíneo se encuentra también bajo el control adrenérgico en los vasos arteriales.

Las fibras adrenérgicas liberan catecolaminas en sus terminaciones y, a una temperatura normal, mantienen las anastomosis arteriovenosas prácticamente cerradas. Cuando los tejidos superficiales se calientan, se produce una gran disminución de los impulsos adrenérgicos, de forma que las anastomosis se dilatan, con lo que circula gran cantidad de sangre caliente (hiperemia) hacia los plexos venosos; ello favorece la pérdida de calor.

Por tanto, uno de los efectos primarios del calentamiento local es el aumento de la presión hidrostática intravascular, que produce vasodilatación y un aumento en el flujo sanguíneo capilar. Sin embargo, los mecanismos por los que se produce dicha vasodilatación son complejos y todavía no se encuentran del todo esclarecidos. Cuando se aplica calor a la superficie cutánea, se produce la vasodilatación de los vasos de resistencia de la piel para favorecer la pérdida de calor, por la puesta en marcha de mecanismos locales o reflejos (fig. 6.3). De esta forma el calor suministrado o generado es eliminado, lo que impide la hipertermia exagerada de la zona y, consecuentemente, en zonas más profundas.

MECANISMOS LOCALES

La aplicación local de calor produce vasodilatación, por medio de un mecanismo independiente de estímulos nerviosos. Estudios en pacientes sometidos a simpatectomía cervical han demostrado la capacidad del calor para actuar directamente sobre la mus-

culatura lisa vascular. En este sentido, sabemos que existen muchos “cambios metabólicos vasodilatadores” (disminución pO_2 y pH, aumentos en la pCO_2 y de la osmolaridad...), entre los que se encuentra la elevación de la temperatura en los tejidos activos. El endotelio posee la capacidad de producir el denominado factor relajante derivado del endotelio (FRDE), sustancia que en la actualidad se ha identificado con el óxido nítrico, responsable directo de la vasodilatación al actuar sobre la musculatura lisa vascular y la contractilidad endotelial.

Por otro lado, el calor puede producir una moderada respuesta inflamatoria, al liberarse en la zona mediadores del tipo de la histamina y prostaglandinas que actuarían sobre los vasos de resistencia produciendo vasodilatación. La acción de estos mediadores químicos provoca la vasodilatación de los vasos de resistencia y un aumento en la permeabilidad capilar y poscapilar venular, por modificación en la tonicidad del músculo liso y de la contractilidad de la célula endotelial, respectivamente.

MECANISMO REFLEJO

Para comprender el reflejo local es necesario comentar algunos aspectos de la regulación nerviosa de los vasos sanguíneos. Todos los vasos sanguíneos, a excepción de los capilares y las vénulas, poseen músculo liso y se encuentran inervados por fibras nerviosas motoras simpáticas del sistema nervioso autónomo. Los receptores alfa de los vasos sanguíneos de la piel y las mucosas responden con la vasoconstricción a los impulsos adrenérgicos.

Los impulsos generados por los termorreceptores son transmitidos por fibras amielínicas hacia la médula espinal y, a través del fascículo espinotalámico lateral y la radiación talámica, hacia la circunvolución posrolándica. Algunos de estos impulsos aferentes son conducidos de forma antidrómica hacia los vasos cutáneos, lo que produce una disminución de la actividad posganglionar adrenérgica en el músculo liso y una vasodilatación. También en la producción de la vasodilatación por este mecanismo se ha implicado la liberación de ciertos mediadores, como la sustancia P, prostaglandinas y prostaciclina.

Los efectos vasodilatadores de esta respuesta refleja no se limitan a la zona calentada, sino que se produce una respuesta consensual en zonas remotas al lugar de la aplicación del estímulo térmico. Así, el calentamiento de una extremidad no sólo produce modificaciones locales del flujo sanguíneo, sino también en la extremidad contralateral, aunque con menor intensidad. Esta respuesta depende de la intensidad del estímulo térmico y de la extensión de la zona de aplicación, ya que la reacción es mayor conforme lo es la entrada neural. Por otra parte, esta respuesta se produce con una latencia corta y sin que se genere un aumento en la temperatura corporal central, lo que refuerza su naturaleza refleja.

La acción refleja se demuestra por el hecho de que si la piel de la pared abdominal se calienta, en respuesta a la hiperemia superficial producida, tiene lugar una reducción del flujo sanguíneo de las mucosas gástrica e intestinal, objetivizada por la aparición de palidez en éstas. Esta respuesta se asocia con una relajación simultánea de la musculatura lisa visceral, con reducción o abolición de la peristalsis. Además, se produce una reducción de la acidez gástrica. Lo mismo ocurre en el útero.

Existe una relación entre la circulación sanguínea de la piel y la del interior del organismo, demostrada por Hauffe. Según este autor, existe un depósito sanguíneo interno, constituido por la cavidad cardíaca, pulmones, hígado y grandes vasos sanguíneos, y uno periférico,

formado por los vasos cutáneos, musculares, coronarios, renales y de la mayoría de las vísceras. Cada uno de estos depósitos reacciona conjuntamente, pero en sentido contrario. Así, por mecanismo reflejo, una vasodilatación periférica provoca una vasoconstricción interna, especialmente en el área esplácnica.

El aumento del flujo sanguíneo (hiperemia) será la expresión final del efecto vasomotor producido por las aplicaciones termoterápicas. Bier estableció los efectos que produce la hiperemia, que pueden sintetizarse en:

1. Mejora de la nutrición y oxigenación celular.
2. Aumento de la reabsorción de productos patológicos.
3. Acción bactericida y antiinflamatoria.
4. Acción analgésica y antiespasmódica.
5. Actividad de restauración tisular.

El flujo sanguíneo en el músculo estriado esquelético se encuentra fundamentalmente sometido a una regulación metabólica: aumenta o disminuye conforme lo hace la contracción muscular. En general, cuando se aplican medios de calentamiento superficial, no se producen modificaciones en el flujo sanguíneo o éstas son mínimas. Si el músculo se calienta directamente, mediante diatermia, la respuesta vascular es muy similar a la que se produce durante el ejercicio. El flujo sanguíneo aumenta a 30 ml / 100 g de tejido / min. Esta modificación se observa independientemente de la modalidad de diatermia empleada.

Efectos neuromusculares

Los estímulos muy calientes de corta duración, aplicados externamente, actúan aumentando el tono muscular y la sensibilidad nerviosa. Los estímulos calientes de larga duración favorecen la relajación muscular y son sedantes y analgésicos. Los efectos antiespasmódico y analgésico son acciones terapéuticas frecuentemente observables con las aplicaciones termoterápicas. Sin embargo, los mecanismos que explican dichos efectos no son del todo bien conocidos.

Debe considerarse la existencia de un verdadero círculo dolor-espasmo-dolor (fig. 6.4). Los traumatismos producen una estimulación de los nociceptores situados en la piel o en el músculo, lo que da lugar a dolor y activación muscular refleja. El espasmo muscular mantenido conlleva la producción de isquemia, la cual -a su vez- activa los nociceptores musculares. Estos nociceptores también reaccionan frente a estímulos eléctricos, edemas intersticiales inflamatorios y estímulos químicos.

La activación de los nociceptores inicia la percepción del dolor, que es transmitido por fibras nerviosas finas amielínicas o poco mielinizadas (A δ y C). Estas señales aferentes sensibles se encuentran conectadas con las motoneuronas alfa y gamma del asta anterior de la médula, y mantienen el espasmo muscular. Además se produce la liberación de sustancias algógenas, como la sustancia P o bradicininas, que sensibilizan los nociceptores.

La acción antiespasmódica puede explicarse en virtud de la acción del calor sobre los circuitos medulares que regulan el tono muscular (fig. 6.5) El músculo, aparte de las fibras contráctiles denominadas extrafusoriales, posee fibras más especializadas que son órganos sensibles muy diferenciados, denominados husos neuromusculares o fibras intrafusoriales.

El huso muscular actúa a modo de sensor del estiramiento del músculo. Las fibras nerviosas aferentes sensitivas que salen del huso (tipo Ia de conducción rápida) actúan de sistema notificador de la información correspondiente. Estas fibras llegan al ganglio espinal sensible desde el asta posterior de la médula, a las motoneuronas alfa del asta anterior. Las fibras nerviosas motoras eferentes procedentes de las motoneuronas alfa, conducen el estímulo a las placas terminales motoras, lo que ocasiona la contracción muscular.

En las astas anteriores de la médula se localizan otras motoneuronas más pequeñas que las alfa: las motoneuronas gamma, cuyas terminaciones eferentes, fibras gamma, regulan la contractilidad de las extremidades de los husos neuromusculares (fusimotoras). La contracción de esta región da lugar a un estímulo que viaja por las fibras hacia las motoneuronas alfa.

En los tendones existe otro receptor que actúa en la regulación del tono muscular: el órgano tendinoso de Golgi (fig. 6.5). Las fibras de este receptor constituyen el grupo de fibras aferentes Ib, mielinizadas y de conducción rápida, que acaban en la médula espinal en interneuronas inhibitorias, las cuales, a su vez, conexas con las motoneuronas alfa. La estimulación de las fibras sensibles Ib produce una inhibición en las motoneuronas que inervan el músculo, donde se originan estas fibras.

Los estudios de Mense demostraron que la elevación de la temperatura muscular alrededor de los 42 °C disminuye o cesa la descarga de las fibras aferentes secundarias del huso neuromuscular y produce un aumento en la descarga de las fibras Ib del órgano tendinoso de Golgi. Estos hechos provocan una disminución en la descarga de la motoneurona alfa, lo que reduce la actividad tónica muscular.

De acuerdo con estos hallazgos y asumiendo que el espasmo muscular secundario obedece a un gran componente tónico, el calor, al disminuir o cesar la descarga de las terminaciones secundarias contribuye a reducir el tono muscular. Este efecto se complementa con un mayor número de impulsos inhibitorios por aumento en la descarga de las fibras Ib del órgano de Golgi.

Es un hecho conocido que la aplicación de calor superficial produce efectos antiespasmódicos. Sin embargo, generalmente los agentes termoterápicos superficiales no son capaces de elevar la temperatura del músculo a los niveles necesarios, para modificar la actividad de las fibras aferentes. Por lo tanto, debe existir otro mecanismo que produzca una reducción del espasmo muscular, cuando se produce el calentamiento de la piel suprayacente al músculo.

El tono muscular disminuye cuando la frecuencia de la descarga gamma eferente es baja. Fischer y Solomon demostraron que la estimulación térmica de la piel de la región cervical produce una disminución en la actividad gamma aferente, lo que da lugar al descenso consecutivo de la sensibilidad del huso muscular; ello conlleva, indirectamente, una disminución de la descarga de la motoneurona alfa.

Diversos estudios han puesto de manifiesto que la elevación de la temperatura muscular puede también modificar la fuerza y la resistencia muscular. Chastain, empleando onda corta aplicada sobre el cuádriceps, observó -durante los primeros 30 minutos tras finalizar la aplicación- una disminución de la fuerza de contracción isométrica, a la que sigue un aumento a las 2 horas de finalizado el tratamiento. También inmediatamente después de la inmersión de la extremidad en un baño entre 40 a 43 °C, la fuerza y la resistencia del

cuádriceps se vieron reducidas. Estos efectos deben tenerse en cuenta, especialmente, a la hora de planificar programas de fortalecimiento muscular o de realizar una evaluación muscular.

Efectos analgésicos

Las aplicaciones de calor para obtener analgesia se han realizado empíricamente desde los tiempos más remotos, para facilitar la realización de movilizaciones pasivas y ejercicios activos. En algunos casos, el dolor puede reducirse al combatir los espasmos musculares secundarios. En cuadros tensionales, la aparición de dolor se relaciona con la existencia de cierto grado de isquemia, por lo que la hiperemia producida por el estímulo térmico contribuye a su disminución. En efecto, se ha demostrado que el aumento del flujo sanguíneo por encima de los 30 ml por 100 g de tejido conlleva una reducción del dolor. Este aumento del flujo sanguíneo permite la llegada de nutrientes a la zona patológica, lo que favorece los procesos de reparación tisular y contribuye a eliminar de los tejidos alterados sustancias como prostaglandinas, bradicinina e histamina, implicadas en la génesis del círculo dolor-espasmo-dolor.

Existen estudios clásicos en los que se ha demostrado que la aplicación de calor sobre el área de un nervio periférico produce un aumento del umbral doloroso en la zona inervada por él. Asimismo, al calentar otros tejidos, como la piel, el umbral doloroso se eleva en la parte tratada.

Trabajos más recientes han estudiado la relación entre la actividad de los nervios dentales y el dolor pulpar tras estimulación térmica. Se han observado tres fases de poca duración, en las que la actividad nerviosa y el dolor se acrecientan, a lo que sigue una paulatina disminución, hasta obtenerse, mediante aplicaciones repetidas, la abolición de la respuesta nerviosa.

Otras teorías apuntan la posibilidad de que el calor actúe como un «contrairritante», modificando la sensación dolorosa por el mecanismo de la «puerta» (gate control) de Melzack y Wall.

Existen datos clínicos que apuntan a que el efecto analgésico también podría explicarse mediante la elevación en el líquido cefalorraquídeo de neurotransmisores endógenos con propiedades morfomiméticas (encefalinas y betaendorfinas), como se ha observado tras la inmersión en baños hipertérmicos.

Modificaciones de las propiedades viscoelásticas de los tejidos

El calor modifica las propiedades elásticas del tejido conectivo. En la figura 6.6 se muestra la experiencia de Lehmann sobre el tendón de conejo. Se observa que el tendón, expuesto a una temperatura de 45 °C y sometido a esfuerzos de tracción mediante cargas diferentes, muestra un aumento en la elongación residual (deformación elástica o plástica) conforme la carga aplicada es mayor. Por el contrario, la aplicación de cargas iguales no produce elongación residual si el tendón se mantiene a su temperatura normal (25 °C). Terapéuticamente, se demuestra que se necesita aplicar menos fuerza para obtener una elongación significativa, cuando el material se calienta localmente, y que es necesaria la aplicación de estas cargas o esfuerzos, durante o inmediatamente después de aplicarse el calor. Este efecto constituye la base fisiológica de los beneficios que las aplicaciones

termoterápicas producen sobre la mayoría de contracturas articulares, las cuales obedecen a engrosamiento de la cápsula articular, sinovial, fibrosis muscular, cicatrices o tensiones ligamentosas.

Así pues, el calor modifica las propiedades elásticas y produce una extensibilidad mayor de los tejidos fibrosos ricos en colágeno. La condición óptima para obtener dicho efecto es la combinación de termoterapia y aplicación de esfuerzos de tracción sobre la zona. El estiramiento prolongado y mantenido resulta más eficaz que el intermitente y de poca duración.

La temperatura articular influye sobre la resistencia y la velocidad a las cuales puede ser movilizada la articulación. Las temperaturas bajas aumentan la resistencia y disminuyen la velocidad. Las temperaturas elevadas producen el efecto opuesto. Por ello, el calor contribuye positivamente a combatir la rigidez producida por alteraciones en las propiedades elásticas articulares. Diferentes estudios confirman que temperaturas locales del orden de los 43°C disminuyen la rigidez articular, mientras que temperaturas bajas, del orden de los 10°C , la aumentan. Todo se encuentra en consonancia con el hecho de los pacientes con artritis reumatoide frecuentemente se alivian de su rigidez articular matutina tras la aplicación de termoterapia. Las aplicaciones de frío, en cambio, aumentan la rigidez y el malestar en dichos pacientes.

FACTORES DE LOS QUE DEPENDE LA REACCIÓN TÉRMICA

Los principales factores que determinan la intensidad de las reacciones fisiológicas inducidas por las aplicaciones termoterápicas son:

1. Temperatura de los tejidos

Muchos estudios han demostrado que la amplitud terapéutica se extiende entre temperaturas locales tisulares del orden de los 40 a los 45°C .

El factor más importante que determina la amplitud de la respuesta fisiológica al calor es el nivel de elevación de la temperatura tisular. Lehmann estudió el porcentaje de reacción hiperémica con ultrasonidos en animales de experimentación, manteniendo constante la duración de la aplicación. Por debajo de un cierto umbral (42°C) no se observaron reacciones. Sin embargo, a temperaturas iguales o superiores a los 45°C resultan inevitables los cambios destructivos asociados con la hiperemia terapéutica. En definitiva, cualquier pequeño cambio en la temperatura tisular, dentro del margen terapéutico, produce una amplia modificación en el grado de respuesta fisiológica, por lo que existe un estrecho margen de eficacia terapéutica.

2. Duración de la elevación de la temperatura tisular

El margen terapéutico aproximado, comúnmente aceptado, es de 3 a 30 minutos; son adecuadas sesiones no inferiores a los 5 minutos. Por encima de los 20 minutos no se obtienen mayores efectos, por cuanto la convección sanguínea realiza el enfriamiento de la zona.

3. Velocidad de ascenso de la temperatura en los tejidos

La velocidad de ascenso de la temperatura es otro factor que hay que considerar. Una modalidad termoterápica que produzca una rápida elevación de la temperatura al índice terapéutico producirá un efecto superior a la de otra que produzca esta elevación más lentamente, siempre que ambas se apliquen durante el mismo tiempo. Durante un período de aplicación determinado, la temperatura tisular se mantendrá durante más tiempo en la zona de eficacia biológica, con la modalidad que produzca un ascenso más rápido de la temperatura.

4. Tamaño de la zona tratada

Este factor tiene especial importancia cuando se busca la acción terapéutica por mecanismos reflejos; ésta dependerá de la intensidad del estímulo aplicado y de la amplitud de “ entrada neural” .

CRITERIOS FUNDAMENTALES PARA LA ELECCIÓN DE UN AGENTE TERMOTERÁPICO

La elevación de la temperatura en los tejidos pone en marcha una serie de reacciones fisiológicas, en las que se fundamentan las acciones terapéuticas del calor. Como se ha comentado, estas reacciones pueden producirse por una acción directa del calor sobre los tejidos o por la puesta en marcha de mecanismos reflejos.

Las aplicaciones tanto de calor como de frío no tienen un efecto curativo, pero constituyen medidas de apoyo muy efectivas, junto con otros tratamientos, no sólo físicos (inmovilización, estiramientos, ejercicios), sino quirúrgicos y farmacológicos. Como en toda actuación terapéutica, la realización de un correcto diagnóstico de la afección y el conocimiento del estado general del paciente son premisas obligadas a la hora de plantear una estrategia termoterápica dentro de un programa general de tratamiento. La identificación precisa de la localización de la lesión y de su estado evolutivo es fundamental para la elección de la modalidad de calentamiento.

Cuando se plantea utilizar termoterapia la primera pregunta que ha de responderse es: ¿se busca una termoterapia intensa o leve?

Cuando se pretende un calentamiento intenso, la elevación local de la temperatura en el tejido patológico, es esencial e implica la selección de un agente que consiga producir una elevación significativa de la temperatura en ese ámbito.

En general, cuando se desea obtener una respuesta termoterápica intensa, es necesario:

1. Alcanzar la temperatura más elevada en la zona en que se encuentra localizada la lesión objetivo del tratamiento.
2. Elevar la temperatura en la zona patológica tan cerca como sea posible del nivel máximo de tolerancia.
3. Mantener ese nivel óptimo de temperatura alcanzado durante un período de tiempo adecuado.
4. También es deseable que la velocidad con que se produce el ascenso de temperatura sea alta.

Alcanzar la temperatura más elevada en la zona de interés terapéutico conlleva una adecuada decisión a la hora de seleccionar una determinada modalidad terapéutica. Por ejemplo, si se desea actuar en la cápsula articular de una rodilla contracturada para modificar su extensibilidad, será necesario seleccionar aquella modalidad de calentamiento que pueda elevar la temperatura a un nivel terapéutico óptimo en la articulación (fig. 6.7).

Si se selecciona una modalidad de termoterapia superficial la temperatura máxima se alcanzará en los tejidos más superficiales. Si esta temperatura se mantiene dentro de los límites de tolerancia, no se obtendrá un incremento de temperatura terapéuticamente eficaz en los tejidos articulares y periarticulares, correspondientes a la zona patológica, situados a mayor profundidad. Si se aumentara la temperatura para alcanzar el nivel terapéutico en la zona de interés, podrían producirse daños graves y quemaduras en los tejidos superficiales. Para obtener un adecuado rendimiento térmico en la zona patológica sin producir alteraciones graves en los tejidos más superficiales, habrá que seleccionar un tipo de termoterapia profunda, como, por ejemplo, los ultrasonidos, que pasarán por los tejidos superficiales sin producir sobrecalentamiento, y convertirán su energía mecánica en calor en la zona de interés.

Para seleccionar la modalidad más correcta para este propósito es importante conocer además, la distribución de temperatura producida por los diversos equipos de termoterapia profunda, los factores que predeterminarán esta distribución térmica y la temperatura absoluta obtenida mediante dicha distribución.

Cuando se persiguen los efectos de un calentamiento leve o moderado, han de considerarse las siguientes medidas:

1. Seleccionar un tipo de agente termoterápico profundo, que pueda producir el aumento máximo de temperatura en la zona patológica, pero reduciendo la potencia o dosificación, de forma que se obtenga una elevación relativamente baja de la temperatura en la zona. Ello se consigue disminuyendo la dosificación, pero también disminuyendo la velocidad de ascenso de la temperatura y la duración de la aplicación.
2. Obtener la temperatura superficial más elevada, distante a la zona patológica.
3. Seleccionar una modalidad de termoterapia superficial para obtener una respuesta limitada en la lesión situada a mayor profundidad. Esta medida suele emplearse para reducir los espasmos musculares de defensa. Los medios de calentamiento superficiales producen un ascenso lento de la temperatura y, aunque el calentamiento directo sobre la piel resulte intenso, en las zonas más profundas el efecto resulta leve o moderado. De esta forma se obtiene un efecto terapéutico por un mecanismo reflejo, lo que evita la aparición de una reacción inflamatoria añadida en la zona patológica situada a mayor profundidad.

El calentamiento intenso se utiliza en procesos crónicos, como ocurre cuando se desea aumentar el grado de extensibilidad del tejido fibroso, en situaciones de contracturas articulares como consecuencia de fibrosis y engrosamiento de la cápsula articular y de las estructuras periarticulares. En este caso, el objetivo del tratamiento será elevar la temperatura en los tejidos fibrosados hasta que ésta los haga más extensibles, y facilitar la posterior realización del resto del programa terapéutico destinado a aumentar la movilidad de la articulación. En el caso, por ejemplo, de una persona que ha sufrido una fractura femoral y es sometida a tracción durante seis semanas, después de la tracción el grado de movilidad de la rodilla se encuentra limitado. La aplicación de ultrasonidos y de ejercicios

pasivos o técnicas de facilitación neuromuscular propioceptiva contribuye a aumentar el grado de movilidad articular y a estirar la musculatura,

El calentamiento intenso es necesario si se desea obtener un aumento lo suficientemente intenso del flujo sanguíneo en procesos inflamatorios crónicos, para estimular los mecanismos de defensa y reparación tisular. Por el contrario, se encuentra contraindicado en procesos inflamatorios agudos, ya que puede sobreimponerse otra reacción inflamatoria grave, que provoque necrosis tisular. Existe, prácticamente, un consenso total de que el calor debe evitarse en inflamaciones musculoesqueléticas agudas, ya que puede agravar el edema y la hemorragia, por aumento del flujo sanguíneo y de la presión hidrostática microvascular.

El calentamiento suave o moderado, generalmente, también se encuentra contraindicado en procesos agudos, pero puede utilizarse en afecciones subagudas.

En cualquier aplicación termoterápica hay que tener en cuenta que la distribución de la temperatura en los tejidos depende de:

1. La cantidad de energía convertida en calor en cualquier punto dado de los tejidos: patrón de calentamiento relativo. El patrón de calentamiento relativo depende de factores determinados para cada modalidad termoterápica. Las zonas selectivamente tratadas por las diferentes modalidades de termoterapia son las siguientes (Lehmann y De Lateur):

- La piel y los tejidos subcutáneos son calentados selectivamente por medios termoterápicos superficiales (radiación infrarroja, baños de parafina, fluidoterapia, hidroterapia, aire caliente, etc.).
- Los tejidos subcutáneos más profundos y los músculos superficiales pueden calentarse con onda corta, empleando aplicadores capacitivos, o con microndas (2.450 MHz). Los músculos situados a mayor profundidad se calientan selectivamente con onda corta de 27,12 MHz en campo inductivo y con microondas (915 MHz).
- Las articulaciones, ligamentos, cicatrices fibrosas, interfases miofasciales, troncos nerviosos, tendones y vainas tendinosas se calientan selectivamente por ultrasonidos a frecuencias de 0,8 a 1,0 MHz.
- Los órganos pélvicos pueden calentarse selectivamente con aplicación de onda corta (27,12 MHz), empleando electrodos internos.

2. Las propiedades térmicas de los tejidos, como el calor específico y la conductividad térmica.

El calor específico de una sustancia se encuentra normalizado al del agua. Un cuerpo con alto calor específico posee una gran cantidad de calor, por lo que puede almacenarlo en mayor cantidad. Casi todos los cuerpos poseen un calor específico inferior al del agua (agua = 1, parafina = 0,7, aire = 0,2). Sustancias como el agua -que poseen una elevada capacidad calorífica y que, por lo tanto, pueden acumular y ceder gran cantidad de calor- experimentan modificaciones de temperatura relativamente pequeñas cuando se les suministra una cantidad dada de calor.

Ya se ha comentado que el tejido adiposo presenta una baja conductividad térmica. Ello supone que la aplicación de agentes superficiales, en localizaciones en que es abundante el componente adiposo (región lumbar, hombros, rodillas, caderas), provocará siempre un calentamiento leve o mínimo de los tejidos subyacentes. Sin embargo, si se tratan pequeñas zonas del organismo como los dedos de la mano, un método termoterápico superficial como la parafina (especialmente aplicada mediante el método de inmersión mantenida) producirá un calentamiento intenso, ya que —aunque su mecanismo básico de transmisión de calor es por conducción— la escasez de partes blandas y grasa en la zona facilita la transmisión de una cantidad de energía térmica adecuada para elevar la temperatura articular a niveles de rango terapéutico.

3. Factores fisiológicos, como la distribución de la temperatura en los tejidos antes de la aplicación. Normalmente la superficie de la piel se encuentra relativamente fría y la temperatura central relativamente alta. Así, cualquier aplicación de termoterapia profunda se superpone a una distribución fisiológica preexistente de la temperatura. Cuando se aplica una modalidad de diatermia, se eleva la temperatura tisular y se produce un aumento del flujo sanguíneo; como la temperatura de la sangre normalmente es más baja que la del tejido calentado, puede producirse el enfriamiento selectivo de la zona, lo que provoca una modificación de la distribución de la temperatura.

INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES GENERALES DE LA TERMOTERAPIA

Indicaciones

En primer lugar, es esencial, para una correcta aplicación terapéutica de los diferentes agentes termoterápicos, disponer de un correcto diagnóstico, que permita establecer los objetivos del tratamiento y seleccionar la modalidad de calentamiento y la técnica de aplicación más apropiada. Los agentes físicos, en general, y los termoterápicos, en particular, pueden resultar dañinos, por lo que su aplicación no debe tomarse a la ligera. En principio, estos agentes y medios deben utilizarse como un tratamiento adyuvante, empleándolos como medidas efectivas dentro de un programa de tratamiento que contemple otras medidas físicas y/o farmacológicas. Siempre debe tenerse en cuenta la necesidad de realizar un adecuado control y seguimiento del tratamiento, para determinar si éste debe continuar, modificarse o suspenderse.

En líneas generales, puede establecerse que la termoterapia se encuentra indicada en procesos inflamatorios crónicos y subagudos; generalmente está contraindicada en procesos agudos, por la posibilidad de agravar el proceso inflamatorio ya existente.

Actualmente, la mayoría de las indicaciones específicas se centran en el sistema musculoesquelético: afecciones articulares derivadas de procesos articulares degenerativos, artritis reumatoide y otros reumatismos, epicondilitis, bursitis, tenosinovitis y periartrosis escapulohumeral. En estos procesos el calor contribuye a vencer la contractura y la rigidez articular, y aumenta la extensibilidad de los tejidos colágenos, gracias a su aplicación conjunta con medidas cinesiterápicas apropiadas, para conseguir aumentar el grado de movilidad articular. La eficacia de las aplicaciones termoterápicas se encuentra clínicamente documentada para combatir el espasmo muscular de defensa, en cuadros postraumáticos subagudos y crónicos, y en otros procesos diversos, como: distrofia

simpática refleja, enfermedad de Raynaud, enfermedad de Dupuytren, enfermedad inflamatoria pélvica crónica, etc.

Precauciones y contraindicaciones

Existen contraindicaciones generales para cualquier aplicación termoterápica y específicas para cada modalidad. En este apartado se consideran las precauciones y contraindicaciones generales de las aplicaciones de calor al organismo.

Previamente a la aplicación, debe evaluarse la sensibilidad térmica y dolorosa de la zona, así como el estado circulatorio del paciente, ya que el calor se encuentra generalmente contraindicado o debe ser empleado con especial precaución sobre áreas anestesiadas o en un paciente obnubilado. En la mayoría de aplicaciones la dosimetría no es exacta, y debe contarse con el paciente que percibe las molestias o dolor cuando el umbral de calentamiento se ha superado.

El calentamiento de tejidos con un inadecuado riego sanguíneo se encuentra contraindicado, dado que la elevación de la temperatura aumenta las demandas metabólicas sin adaptaciones vasculares asociadas, con el riesgo de producción de una necrosis isquémica. Las alteraciones circulatorias, especialmente arteriales, pueden conducir a una disminución en el mecanismo convectivo de disipación del calor suministrado, con el riesgo de quemadura de los tejidos de la zona. Los vasos alterados pueden presentar mayor contractibilidad; su respuesta frente a un estímulo térmico intenso es esencialmente espasmódica.

El calor no debe aplicarse en pacientes con diátesis hemorrágicas, ya que se facilita la hemorragia al incrementarse el flujo sanguíneo. Es el caso de procesos como la hemofilia, traumatismos agudos y pacientes con fragilidad capilar por tratamiento esteroideo de larga duración.

Excepto en los tratamientos especiales (hipertermia anticancerosa), la termoterapia se encuentra contraindicada en zonas donde se halla localizada una neoplasia maligna, ya que temperaturas subterapéuticas, como las utilizadas en fisioterapia, pueden aumentar la tasa de crecimiento del tumor. Existen muchos estudios en los que se demuestra que las aplicaciones termoterápicas pueden favorecer la aparición de metástasis.

Estudios en animales de experimentación han demostrado alteraciones estructurales y funcionales en las gónadas, producidas por microondas y ultrasonidos. Aunque los testículos y ovarios son sensibles a las elevaciones de la temperatura, debido a su localización superficial, los testículos deben ser protegidos o excluidos de la zona de aplicación.

La termoterapia intensa debe evitarse sobre abdomen y regiones pélvicas en mujeres embarazadas. Estudios en animales de experimentación han puesto de manifiesto que la elevación de la temperatura sobre el feto mediante ultrasonidos puede causar anomalías, como bajo peso al nacer, disminución del tamaño cerebral (microcefalia) y deformidades en las extremidades. Estudios sobre el efecto de la onda corta y las microondas en el desarrollo embriogénico y fetal han demostrado que estas malformaciones aparecen en fetos de rata expuestos a frecuencia de 27,12 MHz, y que la alteración del crecimiento y el desarrollo se

produce en embriones de pollo expuestos a microondas de 2.450 MHz. Sin embargo, estos efectos no se han documentado en seres humanos.

Los estudios de Narendranath y Kiracofe, y de Smith et al, apuntaron la posibilidad de producción de anomalías fetales similares a las descritas con diatermia, durante el primer trimestre del embarazo, si la temperatura corporal se elevaba por encima de los 38,9 °C, independientemente de la causa que la produjera. A la vista de estos estudios, Harvey et al recomendaron limitar el empleo de aplicaciones de sauna y baños hipertérmicos en mujeres embarazadas.

En un informe de la Comisión de Seguridad de Productos de Consumo de Estados Unidos, se recomendó que, durante las aplicaciones balneoterápicas calientes, la temperatura corporal central (tomada en la vagina) se hallara por debajo de los 38,9 °C y que la temperatura máxima del agua no sobrepasara los 37,8 °C.

Se ha observado que la exposición de áreas epifisarias, en animales de experimentación, a ultrasonidos con intensidades superiores a 3W/cm², aplicados mediante técnica estacionaria, puede producir desmineralización ósea, alteraciones en las placas epifisarias y retraso en el crecimiento óseo. Sin embargo, en seres humanos este tipo de aplicación no es de empleo clínico, pues conlleva un calentamiento muy intenso y doloroso. De todos modos, es recomendable evitar un calentamiento importante sobre estas zonas.

Por último, hay que insistir en que una mala indicación, selección de modalidad termoterápica o incorrecta aplicación deben considerarse como situaciones realmente peligrosas, que pueden desencadenar reacciones adversas, a veces lamentables.