

فصل اول: عوامل گرمایی، اصول فیزیکی، سرما و گرمای سطحی

• فرمول گرمای مبادله شده: $Q=mc\Delta\theta$

(Q: گرما؛ m: جرم؛ c: گرمای ویژه؛ $\Delta\theta$: تغییر دما)

• رابطه دمای جسم بر حسب درجه سلسیوس و کلونین:

$$T (k) = \theta (^{\circ}C) + 273.15$$

• رابطه دمای جسم بر حسب درجه سلسیوس و

$$F = \frac{9}{5}\theta + 32 \text{ فارنهایت}$$

جدول ۱-۱: گرمای ویژه مواد مختلف

ماده	گرمای ویژه $J/g^{\circ}C$
آب	۴/۱۹
هوا	۱/۰۱
متوسط بدن انسان	۳/۵۶
پوست	۳/۷۷
عضله	۳/۷۵
چربی	۲/۳۰
استخوان	۱/۵۹

اگر دمای اولیه ی دو بافت یکسان باشد بافتی که گرمای ویژه ی بالاتری دارد برای کسب افزایش دمای یکسان، به انرژی بیشتری نیاز دارد. برای مثال پوست نسبت به چربی یا استخوان، و همچنین آب نسبت به هوا، گرمای ویژه بالاتری دارد. مواد با گرمای ویژه بالاتر، در مقایسه با مواد با گرمای ویژه پائین تر، برای گرم شدن (ازدیاد دما) به انرژی بیشتری نیاز دارند و در دمای معین، انرژی بیشتری را نگه می دارند.

برای انتقال گرما به میزان یکسان به بدن بیمار، عامل حرارتی با گرمای ویژه ی بالا مثل آب در مقایسه با عامل حرارتی مثل هوا (فلوئیدوتراپی)، در دمای پایین تری اعمال می شود.

فیزیک گرما

گرمای ویژه^۱: مقدار انرژی حرارتی لازم برای افزایش دمای واحد جرم یک ماده به اندازه یک درجه سلسیوس، گرمای ویژه نام دارد. گرمای ویژه یک ماده معمولا بر حسب $\frac{J}{g^{\circ}C}$ درجه سلسیوس بیان می شود. گرمای ویژه چند ماده مختلف در جدول ۱-۱ آمده است.

• هر گاه جسمی با دمای بیشتر در تماس گرمایی با جسمی با دمای کمتر قرار گیرد، بر اثر اختلاف دمای دو جسم، انرژی از جسم گرم تر به جسم سرد تر منتقل می شود. به این انرژی انتقال یافته بر اثر اختلاف دمای دو جسم، گرما گفته می شود.

• وقتی دو جسم سرد و گرم در تماس با یکدیگر قرار می گیرند، از دیدگاه میکروسکوپی، انرژی های پتانسیل و جنبشی مربوط به حرکت های کاتوره ای اتم ها، مولکول ها و سایر اجزای میکروسکوپی داخل جسم گرم کاهش می یابد و همین انرژی ها در داخل جسم سرد افزایش می یابد تا آنکه دو جسم به تعادل گرمایی برسند. با رسیدن به تعادل گرمایی، دیگر گرمایی منتقل نمی شود.

• ظرفیت گرمایی^۲ به جنس جسم و جرم آن بستگی دارد. ظرفیت گرمایی اجسامی که از یک نوع ماده ساخته شده اند متناسب با جرم آنهاست. به ظرفیت گرمایی واحد جرم اجسام، گرمای ویژه می گویند. در واقع گرمای ویژه هر جسم، مقدار گرمایی است که باید به یک کیلوم گرم از آن جسم داده شود تا دمای آن یک درجه سلسیوس (یا یک کلونین) افزایش یابد.

• گرمای ویژه به جنس ماده تشکیل دهنده آن و دما بستگی دارد

¹. Specific Heat

². Thermal Capacity

حرکت اتم ها و مولکول هاست. گرما از ماده ی با دمای بالاتر به ماده ی با دمای کمتر هدایت می شود، زیرا مولکول های دارای حرکت سریع تر در ماده ای که دمای بیشتری دارد با مولکول های ماده سردتر برخورد می کنند و باعث حرکت سریع تر آنها می شوند.

فیزیک گرما

- در فلزات، علاوه بر ارتعاش های اتمی، الکترون های آزاد نیز در انتقال گرما نقش دارند. از این رو، فلزات نسبت به سایر اجسام، رساناهای گرمایی بسیار بهتری هستند. در واقع چون الکترون ها بسیار کوچک اند و به سرعت حرکت می کنند با برخورد با سایر الکترون ها و اتم ها سبب رسانش گرما می شوند. بنابراین در رساناهای فلزی سهم الکترون های آزاد در رسانش گرما بیشتر از اتم هاست.

- اجسام دیگر مانند شیشه، چوب و .. نیز می توانند گرما را تا حدودی انتقال دهند. رسانش گرمایی در این اجسام به دلیل ارتعاش اتم ها و گسترش این ارتعاش ها در طول آنهاست. این اجسام به دلیل نبود الکترون های آزاد، رساناهای گرمایی خوبی نیستند. از این گونه مواد به عنوان عایق گرمایی استفاده می شود.

اگر عامل فیزیکی دمایی بالاتر از پوست بیمار داشته باشد؛ مثل کیسه داغ (هات پک) یا پارافین، گرما از مدالیته به بیمار منتقل می شود و دمای بافت های سطحی در تماس با عامل گرمایی، افزایش می یابد. اگر عامل فیزیکی مورد استفاده، از پوست بیمار سردتر باشد گرما از بیمار به عامل فیزیکی منتقل شده و در نتیجه دمای بافت های سطحی که در تماس با عامل سرمایی قرار دارند، کاهش خواهد یافت. وقتی موضعی از بدن گرم می شود بخشی از حرارت می تواند از طریق رسانش به ناحیه ی مجاور انتقال یابد.

یک کالری عبارتست از مقداری گرمای (انرژی حرارتی) لازم برای افزایش 1°C دمای ۱ گرم آب. دما، انرژی جنبشی اتم ها و مولکول هاست. حد بالایی دما نامشخص اما حد پائین آن معلوم است که در آن هیچ گونه حرکت اتمی یا مولکولی وجود ندارد. به این نقطه صفر مطلق گفته می شود که حدود 273°C - درجه سلسیوس است. گرمای ویژه ی آب $4/18$ و بدن انسان نزدیک $3/5$ کیلوژول بر کیلوگرم است، زیرا قسمت اعظم بدن انسان (70%) را آب تشکیل می دهد.

تمرین: برای افزایش دمای بدن یک زن ۵۰ کیلو گرمی به اندازه ی ۲ درجه سانتی گراد، چند کیلوژول انرژی لازم است؟

جواب: متوسط گرمای ویژه بدن $\frac{\text{ژول}}{\text{درجه سلسیوس} \times \text{گرم}}$ $3/5$

است. در این رابطه اگر واحد جرم بر حسب کیلو گرم نوشته شود گرمای ویژه بدن بر حسب

$$\frac{\text{ژول}}{\text{درجه سلسیوس} \times \text{کیلو گرم}} = 10^3 \times 3/5 \text{ خواهد بود.}$$

$$Q = 50 \times 3.5 \times 10^3 \times 2 = 350 \times 10^3 \text{J} = 350 \text{KJ}$$

روش های انتقال حرارت

- عوامل گرمایی، گرما را به بدن انتقال می دهند در حالی که عوامل سرمایی، گرما را از بدن می گیرند. تنظیم حرارت به وسیله بدن با استفاده از روش های انتقال حرارت، موجب حفظ دمای مرکزی بدن و تعادل بین تولید گرمای متابولیک درونی و از دست دادن گرما یا کسب گرما در سطح پوست می گردد.

رسانش یا هدایت^۱

در نتیجه ی تبادل انرژی حاصل از تصادم مستقیم بین مولکول های دو ماده با دمای مختلف، انتقال گرما به روش هدایت صورت می گیرد. در حقیقت رسانش، نتیجه ی

^۱. Conduction

جدول ۲-۱: رسانندگی گرمایی (قابلیت هدایت حرارتی) مواد

ماده	رسانندگی گرمایی (cal/sec)/(cm ² x°c/cm)
نقره	۱/۰۱
آلومینیم	۰/۵۰
یخ	۰/۰۰۵
آب در دمای ۲۰ °C	۰/۰۰۱۴
استخوان	۰/۰۰۱۱
عضله	۰/۰۰۱۱
چربی	۰/۰۰۰۵
هوا در دمای ۰ °C	۰/۰۰۰۰۵۷

• موادی که قابلیت هدایت حرارتی بالاتری دارند گرما را سریع تر انتقال می دهند. برای اینکه سرعت هدایت حرارت به صورت ایمن و موثر باشد عوامل گرمایی و سرمایی که از طریق رسانش عمل می کنند، عموماً از موادی انتخاب می شوند که دارای قابلیت هدایت حرارتی متوسط باشند. فلزات دارای قابلیت هدایت حرارتی بالا، آب دارای قابلیت هدایت حرارتی متوسط و هوا دارای قابلیت هدایت حرارتی پائین است. برخی انواع هات پک در محفظه آب تقریباً ۷۰ درجه نگه داشته می شوند. این دمای بالا، گرمای ویژه ی بالای آب و قابلیت هدایت حرارت متوسط آب، به انتقال گرمای خوب و موثر اجازه می دهد. با این وجود اگر کیسه گرم مستقیماً روی پوست بیمار گذاشته شود احتمالاً بیمار خیلی زود احساس داغی ناراحت کننده نموده و ممکن است دچار سوختگی شود. استفاده از تعدادی حوله بین هات پک و بیمار یا پوشش های هات پک (هوا را به دام انداخته و قابلیت هدایت حرارتی پائین دارند) باعث کاهش سرعت انتقال گرما می شود. به طول معمول ۶ تا ۸ لایه حوله بین هات پک و بیمار قرار داده می شود.

اگر بین عامل گرمایی هدایتی و بیمار هوا وجود داشته باشد ابتدا گرما از عامل حرارتی به هوا و سپس از هوا به بیمار هدایت خواهد شد. "کیسه گرم، کیسه سرد، پارافین و آب گرم ساکن" از جمله مدالیت هایی هستند که در آنها انتقال گرما با روش هدایت صورت می گیرد.

آهنگ انتقال حرارت از طریق رسانش

آهنگ انتقال گرما از طریق رسانش بین دو ماده به "اختلاف دمای بین مواد، رسانندگی گرمایی یا قابلیت هدایت گرمایی^۱ آنها و اندازه تماس شان بستگی" دارد. رابطه بین این متغیرها با فرمول زیر بیان می شود.

$$\text{آهنگ رسانش گرمایی} = \frac{\text{اندازه تماس} \times \text{رسانندگی گرمایی} \times \text{اختلاف دما}}{\text{ضخامت بافت}}$$

اختلاف دما: هر چه اختلاف دما بین مدالیت و بدن بیشتر باشد آهنگ انتقال حرارت هم بیشتر است. برای مثال هر چه دمای یک کیسه گرم (هات پک) بالاتر باشد دمای پوست در تماس بیمار با آن، سریع تر افزایش می یابد. عموماً دمای مدالیت های فیزیکی که بر مبنای رسانش عمل می کنند باید طوری انتخاب شود که کسب یک تبادل دمایی سریع و ایمن میسر شود. اگر عامل گرمایی فقط چند درجه ای گرم تر از بدن باشد گرم شدن بسیار طولانی خواهد شد. برعکس، اگر اختلاف دمایی زیاد باشد انتقال گرما به قدری سریع صورت می گیرد که ممکن است باعث سوختگی شود.

رسانندگی گرمایی یا قابلیت هدایت حرارت: عبارتست از سرعت انتقال حرارت آن ماده بطریقه هدایت و عموماً بر حسب (cal/sec)/(cm²x°c/cm) بیان می شود (جدول ۲-۱). توجه شود که قابلیت هدایت حرارتی، متفاوت از گرمای ویژه است.

^۱. Thermal Conductivity

در صورت نیاز به کاهش بیشتر هدایت گرما، تعداد لایه های حوله اضافه می شود. حوله ها و پوشش های جدید و تازه تر، نسبت به حوله ها و پوشش های کارکرده و قدیمی تر، ضخامت بیشتری داشته و عایق موثرتری هستند.

• چربی زیر جلدی با توجه به رسانندگی گرمایی پایین، به عنوان یک عایق عمل نموده و هدایت گرما به بافت های عمقی تر و یا از بافت های عمقی تر به سطح را محدود می کند.

• چون فلزات رسانندگی گرمایی بالایی دارند لذا جواهرات فلزی باید از تماس با عوامل گرمایی هدایتی دور شوند. اگر جواهرات فلزی را از محل اعمال گرمای هدایتی دور نکنیم گرما سریعاً به فلز منتقل شده و ممکن است باعث سوختگی پوست در تماس با فلز گردد.

• حتی در دمای یکسان، یخ نسبت به آب باعث سرد شدن سریع تر می گردد زیرا اولاً یخ در مقایسه با آب، قابلیت هدایت حرارت بالاتری دارد و ثانیاً یخ به هنگام ذوب شدن (تبدیل به مایع) مقدار انرژی قابل توجهی از پوست می گیرد.

• قابلیت هدایت حرارت هات پک های تجاری موجود متفاوت است؛ قابلیت هدایت حرارت برخی از آنها از یخ یا آب بالاتر و برخی دیگر از آنها، کمتر است. بنابراین وقتی برند یا نوع کیسه سرد را تغییر می دهیم باید توجه داشته باشیم که لزوماً کیسه یا پک جدید همانند کیسه قدیمی به همان سبک، همان مدت زمان یا با همان تعداد لایه عایق گذاری به کار نمی رود.

سوال: چرا پارافین با دمای 45°C تا 48°C را می توان بطور مستقیم در تماس با پوست قرار داد ولی نمی توان آب را در این دما در تماس مستقیم با پوست به کار برد؟
جواب: به دو دلیل: (۱) زیرا پارافین دارای گرمای ویژه ی پائین تر و (۲) قابلیت هدایت گرمایی کمتر است.

سطح تماس: هر چه سطح تماس بین مدالیته گرمایی هدایتی و بدن بیمار بزرگ تر باشد انتقال کلی حرارت هم بیشتر است.

سؤال: چرا فرو بردن دست و ساعد در یک محفظه ی آب ساکن برای فرد حامله خطری ندارد ولی فرو رفتن بخش بزرگی از بدن در یک تانک هوپارد (با حرارت یکسان) مجاز نیست؟

جواب: چون سطح تماس وسیع تر بوده و انتقال حرارت به بدن مادر بیشتر است و برای جنین خطرناک است.

ضخامت بافت: متناسب با ضخامت بافت، سرعت افزایش دما به بافت های عمقی تر کاهش می یابد طوریکه هر چه بافت عمقی تر باشد دمای آن کمتر تغییر خواهد نمود. بنابراین مدالیته های حرارتی که به طریقه رسانش عمل می کنند برای گرم کردن یا سرد کردن بافت های سطحی مناسب هستند و برای تغییر دمای بافتهای عمقی چندان مناسب نیستند.

جابجایی یا همرفت^۲

انتقال حرارت در این روش در نتیجه ی تماس مستقیم بین یک مادیوم^۳ در گردش و ماده ای دیگر با دمای متفاوت، اتفاق می افتد. در انتقال گرما به روش هدایت، تماس بین عامل گرمایی ساکن (بی حرکت) و بیمار ثابت است؛ در حالی که در روش همرفت چنین نیست. انتقال حرارت در فلوئیدوتراپی، ویرپول و گردش خون به طریقه همرفت اتفاق می افتد. در گرم کردن یا سرد کردن به طریقه همرفت، عامل حرارتی در حرکت است و مرتباً بخش های جدیدی از عامل با همان دمای اولیه، در تماس با بدن بیمار قرار می گیرد.

1. Hubbard Tank

2. Convection

3. Medium

Modalities for therapeutic intervention 2016

• گرمای ویژه آب چند هزار برابر هواست. در دمای معین، میزان از دست دادن گرما^۳ در آب، در مقایسه با هوا، ۲۵ برابر بیشتر است. اغلب ما زمانی که مدتی را صرف شنا در استخر یا دریا نموده ایم تجربه می‌کنیم که از دست دادن نسبتاً سریع گرما از طریق همرفت را داشته ایم. در حقیقت غوطه وری و حرکت در استخر خنک (حدود ۲۲/۵ درجه سلسیوس) باعث از دست دادن بسیار سریع تر گرما می‌شود (در مقایسه با آنچه که طی زمان سپری شده در هوای با همان دما اتفاق می‌افتد). کبود شدن لب‌ها و به هم خوردن دندان‌ها، وقتی که نمی‌خواهید از استخر خارج شوید، را به خاطر بیاورید.

• در بدن انسان گردش خون بطریقه‌ی همرفت موجب انتقال حرارت می‌شود تا تغییرات موضعی دمای بافت را کاهش دهد. برای مثال زمانی که یک عامل گرمایی به ناحیه‌ای از بدن اعمال می‌شود و باعث تغییر موضعی دمای بافت می‌شود، گردش خون مداوماً خون گرم شده را از آن ناحیه خارج و خون سرد تر را به آن ناحیه وارد می‌کند تا دمای موضعی بافت را به سطح طبیعی بازگرداند. این سرد کردن موضعی از طریق همرفت، اثر عامل گرمایی سطحی روی دمای بافت موضعی را کاهش می‌دهد. گشادای عروقی^۴، سرعت گردش خون را افزایش می‌دهد؛ در نتیجه سرعت بازگشت دمای بافت به حالت عادی را افزایش می‌دهد.

▪ به طور خلاصه با افزایش دمای موضعی بافت، افزایش گردش خون از طریق همرفت سعی در خنک کردن آن موضع دارد یعنی می‌خواهد دمای بافت موضع را به سطح طبیعی بازگرداند. بنابراین انبساط عروقی (که در پاسخ به اعمال گرما اتفاق می‌افتد) خطر سوختگی را کاهش داده و از بافت‌ها محافظت می‌نماید.

به هنگام استفاده از یک ماده و با دمای اولیه یکسان، در انتقال حرارت به روش همرفت، نسبت به انتقال حرارت به روش هدایت، در یک دوره زمانی یکسان، گرمای بیشتری انتقال می‌یابد. در روش همرفت، مولکول‌ها یا اتم‌های گرم (مایعات و گازها) از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر حرکت می‌کنند. انتقال حرارت در جامدات بیشتر به روش هدایت و در مایعات بیشتر به طریقه همرفت صورت می‌گیرد. قرار دادن دست در داخل یک ویرپول در مقایسه با محفظه آب ساکن (هر دو با دمای یکسان)، موجب گرم شدن سریع تر پوست می‌شود. زیرا در ویرپول، مرتباً قسمت‌های جدیدی از عامل حرارتی در حال گردش با پوست تماس می‌یابد. هر چقدر سرعت گردش آب بیشتر باشد گرما هم سریع تر منتقل می‌شود.

یادآوری فیزیک گرما

• انتقال گرما در مایعات و گازها که معمولاً رساناهای گرمایی خوبی نیستند عمدتاً به روش همرفت، یعنی همراه با جابجایی بخشی از خود ماده انجام می‌شود. این پدیده بر اثر کاهش چگالی شاره بر افزایش دما صورت می‌گیرد. گرم شدن هوای داخل اتاق به وسیله بخاری و رادیاتور شوفاژ، گرم شدن آب درون قابلمه، جریان‌های باد ساحلی، انتقال گرما از مرکز خورشید به سطح آن همگی بر اثر پدیده همرفت رخ می‌دهند.

• انتقال حرارت به شیوه همرفت (جابجایی)، به دو صورت "اجباری یا وا داشته شده"^۱ و "عادی یا آزاد"^۲ رخ می‌دهد. زمانی که یک سیال توسط نیروی خارجی (پمپ، فن و یا باد) بر روی یک سطح جریان پیدا می‌کند به آن همرفت اجباری گفته می‌شود. همرفت عادی زمانی اتفاق می‌افتد که حرکت سیال توسط نیروی شناوری ناشی از اختلاف چگالی صورت می‌گیرد.

³. Heat loss

⁴. Vasodilation

¹. Forced convection

². Natural convection

خون در حال گردش به تثبیت دمای موضعی بدن کمک می کند. زمانی که گردش خون مختل شده باشد، ریسک آسیب حرارتی افزایش می یابد.

تبدیل^۱

مدالیتته هایی مثل اولتراسوند، دیاترمی و متابولیسم از این طریق عمل می نمایند. در این روش، شکل غیر حرارتی انرژی مثل مکانیکی، الکتریکی یا شیمیایی به گرما تبدیل می شود. در اولتراسوند، انرژی مکانیکی در داخل بافت به انرژی حرارتی تبدیل می شود. اولتراسوند باعث به ارتعاش درآمدن مولکول ها در بافت شده و اصطکاک بین آنها تولید گرما می کند؛ در نتیجه باعث افزایش دمای بافت می شود. اعمال دیاترمی (شکلی از انرژی الکترو-مغناطیسی) به بدن باعث چرخش مولکول های قطبی می گردد و اصطکاک ایجاد شده بین این مولکول ها باعث افزایش دمای بافت می شود. برخی از انواع کیسه سرد با تبدیل گرما به انرژی شیمیایی، باعث سرد شدن می شوند. در متابولیسم، انرژی شیمیایی به انرژی گرمایی تبدیل می شود.

مقایسه روش تبدیل با روش های رسانش و همرفت

۱- برخلاف گرم شدن به طریق هدایت (رسانش) و یا همرفت، گرم شدن به روش تبدیل، تحت تاثیر دمای مدالیتته (عامل گرمایی) نیست.

۲- میزان انتقال حرارت در این شیوه به توان منبع انرژی وابسته است. توان اولتراسوند و دیاترمی معمولاً بر حسب وات اندازه گیری می شود که به معنی مقدار انرژی خروجی (بر حسب ژول) در ثانیه می باشد. مقدار انرژی خروجی حاصل از واکنش شیمیایی به مواد شیمیایی واکنش دهنده بستگی دارد و معمولاً بر حسب ژول اندازه گیری می شود.

۳- در گرم شدن به روش تبدیل، سرعت افزایش دمای بافت به حجم و نوع بافت تحت درمان، اندازه اپلیکاتور، و کارایی انتقال انرژی از اپلیکاتور به بیمار بستگی دارد. بافت های مختلف، اشکال مختلف انرژی را به میزان متفاوتی جذب می کنند و گرمای متفاوتی ایجاد می کنند.

۴- در گرم شدن به طریق ی تبدیل، تماس مستقیم بین عامل گرمایی و بدن نیاز نیست؛ اما به یک ماده واسطه مناسب جهت انتقال موثر انرژی از اپلیکاتور به بیمار نیاز است. برای مثال بین اپلیکاتور اولتراسوند و بیمار باید از ژل انتقال دهنده، لوسیون (کرم) یا آب استفاده کرد تا اولتراسوند را انتقال دهد زیرا ممکن است بین سر مبدل اولتراسوند و بیمار، هوا وجود داشته باشد که به خوبی اولتراسوند را انتقال نمی دهد

۵- مدالیتته هایی که به طریق ی تبدیل باعث افزایش دما می شوند، اثرات فیزیولوژیک غیرگرمایی هم دارند. برای مثال اگرچه انرژی مکانیکی اولتراسوند و انرژی الکتریکی دیاترمی می توانند از طریق تبدیل، گرما تولید کنند؛ همچنین اثرات مستقیم مکانیکی یا الکتریکی روی بافت دارند.

تشنشع یا تابش^۲

در این شیوه، انرژی از یک ماده با دمای بالاتر به ماده ای با دمای پایین تر، بدون نیاز به ماده واسطه یا تماس، انتقال می یابد. در انتقال حرارت به روش تبدیل، ممکن است بیمار و مدیوم دمای یکسانی داشته باشند؛ اما در این روش چنین نیست. در روشهای هدایت یا جابجائی (همرفت)، عامل گرمایی می بایست در تماس با بافت مورد نظر باشد؛ در حالیکه در روش تابش، نیازی به تماس نیست. میزان افزایش دما در این شیوه به "شدت تابش، اندازه نسبی منبع تابش، ناحیه تحت درمان، فاصله منبع از ناحیه تحت درمان و زاویه تابش" بستگی دارد.

² . Radiation

¹ . Conversion

Electrotherapy Explained 2006

• گرچه معمولاً انتقال گرما بر اساس رسانش (عمدتاً در جامدات)، همرفت در مایعات و تابش توصیف می شود؛ اما باید توجه داشت که در بسیاری از شرایط واقعی زندگی، هر سه روش به صورت زنجیره‌ای پیچیده از تبادل گرما کار می کنند. برای مثال، رادیاتورهای گرمایی مرکزی به وسیله آب داغ پمپ شده گرم می شوند (همرفت و داشته شده)، این رادیاتورها، هوای در تماس با خود شان را گرم می کنند (رسانش) و این هوای گرم شده به سمت بالا حرکت می کند (همرفت گرمایی) و اتاق را گرم می سازد. از طرف دیگر، رادیاتور امواج فرسوخ ساطع می کند که به وسیله اشیاء دیگر و اشخاص داخل اتاق جذب می شود (تابش) و این باعث گرم شدن بیشتر می گردد. سهم هم تابش و هم همرفت با افزایش دما افزایش می یابد اما همرفت تقریباً به طور خطی و تابش به صورت نمایی افزایش می یابد؛ لذا در دماهای پایین، انرژی عمدتاً از طریق همرفت انتقال می یابد.

تبخیر سطحی^۱

برای تبخیر شدن، یک ماده باید انرژی جذب کند یا این که از حالت مایع به گاز (بخار) تبدیل شود. این انرژی به شکل گرما از خود ماده یا ماده مجاور جذب می شود و دمای آن را کاهش می دهد. در این عمل، برای تبدیل مایع به بخار یا گاز، انرژی مورد نیاز به شکل گرما از بدن بیمار جذب می شود و سبب کاهش دمای بدن می گردد.

فیزیک گرما

• تبدیل مایع به بخار، تبخیر (vaporization) نام دارد. تبخیر سطحی (evaporation)، نوعی تبخیر است که در آن، تا پیش از رسیدن به نقطه جوش مایع، تبخیر به طور پیوسته ای از سطح مایع رخ می دهد.

میزان تابش به دمای شیء بستگی دارد. طول موج پرتو به دما بستگی دارد. با افزایش دما، طول موج کاهش پیدا می کند. انتقال حرارت خورشید به سطح زمین از این طریق انجام می گیرد. لامپ های مادون قرمز (IR) از این طریق حرارت را انتقال می دهند.

فیزیک گرما

• وقتی دستمان را زیر لامپ رشته ای قرار می دهیم انتقال گرما به روش تابش گرمایی اتفاق می افتد. در این مثال، گرما با روش رسانش گرمایی به دستمان نمی رسد زیرا بین لامپ رشته ای و دست مان هیچ گونه تماسی برقرار نبوده و هوا نیز رسانای خوبی نیست. همچنین گرم شدن دست با روش همرفت نیز توجیح نمی شود زیرا دست شما در زیر لامپ قرار داشته و در همرفت، هوای گرم شده در اثر کاهش چگالی به سمت بالا جابجا می شود.

• خورشید، لامپ داغ، کتری، رادیاتور شوفاژ و ... از خود پرتوهایی از نوع امواج الکترومغناطیسی گسیل می کنند که دست ما با جذب آنها گرم می شود.

• هر جسم در هر دمایی تابش الکترومغناطیسی گسیل می کند. به این نوع تابش، تابش گرمایی می گویند. در واقع، همه اجسام با استفاده از این امواج در دمای بیشتر از صفر کلوین از خود انرژی ساطع می کنند. تابش گرمایی در دما های زیر حدود ۵۰۰ درجه سانتی گراد عمدتاً به صورت تابش فرسوخ (مادون قرمز) است که نامرئی می باشد.

• تابش گرمایی از سطح هر جسم، علاوه بر دما، به مساحت، میزان صیقلی بودن و رنگ سطح آن جسم بستگی دارد. سطوح صاف و درخشان با رنگ های روشن تابش گرمایی کمتری دارند در حالی که تابش گرمایی سطوح تیره، ناصاف و مات بیشتر است.

^۱ . Evaporation

وسیله پوست گرم بدن، گرم می شود سریعاً از حالت مایع به بخار درآمده و پوست را سرد می نماید.

اثرات گرم کردن

یکی از اثرات گرم کردن، انبساط گرمایی است. توجیه انبساط گرمایی مبتنی بر دیدگاه میکروسکوپی است. انبساط گرمایی یک جسم جامد پیامد تغییر فاصله بین اتم ها یا مولکول های تشکیل دهنده آن است. می توان در یک ماده جامد، اتم ها را ذراتی در نظر گرفت که با فنرهایی به اتم های مجاور متصل شده اند. اتم ها پیرامون مکان های خود با دامنه کم، نوسان می کنند. با افزایش دمای جامد، فاصله متوسط بین اتم ها افزایش می یابد و در نتیجه جسم جامد منبسط می شود.

در جامدات، انبساط گرمایی باعث انبساط طولی، سطحی و حجمی جسم می شود. تجربه نشان می دهد با انبساط جسم جامد، شکل آن عوض نمی شود و همه ابعاد آن به تناسب افزایش می یابد. در مایع با افزایش دما، حرکت کاتوره ای اتم ها و مولکول ها بیشتر می شود و این افزایش حرکت ها باعث دور شدن اتم ها و مولکول ها از هم می شود و حجم مایع افزایش می یابد. یعنی انبساط گرمایی در مایعات به شکل انبساط حجمی اتفاق می افتد.

انبساط غیر عادی آب

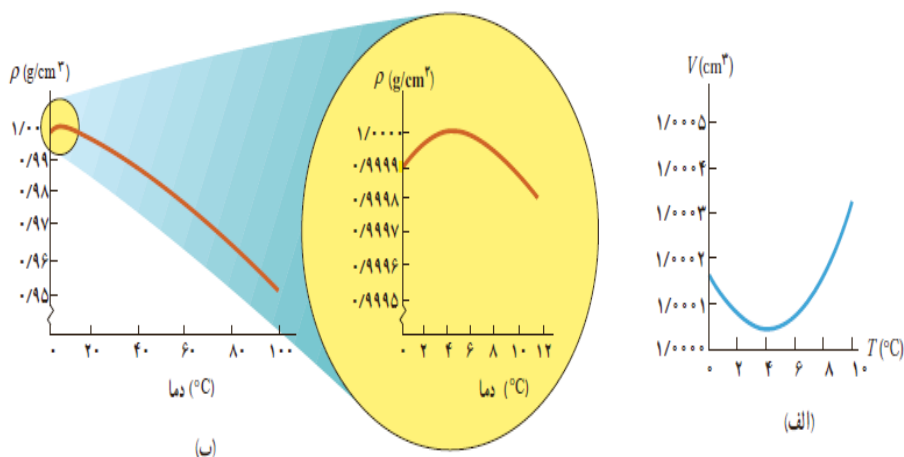
حجم بیشتر مایعات با کم شدن دما کاهش و در نتیجه چگالی آن افزایش می یابد، ولی رفتار آب در محدوده دمایی صفر تا ۴ درجه سلسیوس متفاوت است؛ یعنی در این محدوده با کاهش دما، حجم آب افزایش و چگالی آن کاهش می یابد (شکل ۱-۱). در بازه دمایی صفر تا ۴ درجه سلسیوس، با افزایش دما، حجم آب کاهش و چگالی آن افزایش می یابد.

خشک شدن لباس خیس که روی بند رخت آویخته شده یا خشک شدن سریع یک زمین خیس در هوای گرم تابستان، مثال هایی از تبخیر سطحی هستند.

- در پدیده تبخیر سطحی، تندی برخی از مولکول های مایع به حدی می رسد که می توانند از سطح مایع فرار کنند. آهنگ رخ دادن این فرایند به عواملی از جمله دما و مساحت سطح مایع بستگی دارد.
- در جوشیدن، کل مایع در فرایند تبخیر شرکت می کند. به فرایند تبخیر تا پیش از رسیدن به نقطه جوش، تبخیر سطحی و به فرایند تبخیر در نقطه جوش، اصطلاحاً جوشیدن می گویند؛ در حالیکه هر دو فرایند تبخیرند.
- تجربه نشان می دهد که گرمای منتقل شده برای تبخیر هر مایع با جرم آن نسبت مستقیم دارد. نسبت این گرما به جرم بخار شده را گرمای نهان ویژه تبخیر می نامیم.
- تبدیل بخار به مایع، میعان نامیده می شود. در واقع، میعان، وارون فرایند تبخیر است که در آن، بخار گرما از دست می دهد و به مایع تبدیل می شود.

تبخیر عرق، مکانیسمی برای خنک کردن بدن است. دمای تبخیر برای تعریق چند درجه ای بیشتر از دمای طبیعی پوست است. اگر در اثر تمرین یا یک عامل خارجی دمای پوست افزایش یابد، چنانچه رطوبت محیط به اندازه کافی پایین باشد، تعریق ناشی از افزایش دمای بدن، تبخیر شده و باعث کاهش دمای موضعی بدن می شود. اگر رطوبت محیط بالا باشد تبخیر مختل می شود. زمانی که بدن بیش از حد گرم می شود تعریق یک مکانیسم همئوستازی (هم ایستایی) جهت خنک کردن بدن بوده و به بازگشت دمای بدن به سمت دامنه طبیعی کمک می نماید. اسپری های سرمایی تبخیر شونده^۱ به وسیله تبخیر، گرما را از بیمار انتقال می دهد. این اسپری ها، در مقایسه با آب، حتی در دمایی کمتر تبخیر می شوند. زمانی که این اسپری به

^۱ . Vapocoolant Spray



شکل ۱- ۱: (الف) تغییرات حجم یک گرم آب شیرین با دما، (ب) تغییرات چگالی آب شیرین با دما

حجم در حالت مایع که آرایش مولکولی نامنظمی دارد، کمتر است. انجماد یک مایع و تبدیل آن به یک جامد، عکس فرایند ذوب شدن است و لازمه این فرایند گرفتن گرما از مایع است تا مولکول ها بتوانند در یک ساختار جدید قرار گیرند. در اینجا نیز تغییر حالت بدون تغییر دما رخ می دهد. گرمای منتقل شده برای تغییر حالت جسم از جامد به مایع یا از مایع به جامد، با جرم جسم نسبت مستقیم دارد. نسبت این گرما به جرم جسم را گرمای نهان ویژه ذوب می گویند.

پس از دمای ۴ درجه سلسیوس، مانند اجسام دیگر، با افزایش دما، حجم آب افزایش و چگالی آن کاهش می یابد. رفتار شگفت انگیز آب را می توان با ساختار مولکول های آن در یخ توضیح داد. مولکول های آب در یخ شبکه ای بلوری تشکیل می دهند؛ به طوری که مولکول ها در بعضی نواحی خیلی به هم نزدیک اند و در نواحی دیگر بین آنها فضای خالی وجود دارد. وقتی آب از یخ به حالت مایع تبدیل می شود، ساختار شبکه بلوری در هم می شکند و آرایش مولکول های آن یکنواخت تر می شود و در نتیجه حجم اشغال شده کاهش می یابد. در محدوده دمایی صفر تا ۴ درجه سلسیوس، بقایای ساختار مولکولی یخ هنوز وجود دارد و موجب رفتار غیر عادی آب می شود.

Electrotherapy Explained 2006

مکانیسم های تنظیم حرارت

دمای بدن

انسان ها می توانند دمای مرکزی بدن شان را در حد ثابتی نگه دارند، اصطلاحاً می گوئیم هومئوترمیک^۱ هستند. به عبارت دیگر، دمای ساختارها و ارگان هایی که در عمق قرار گرفته اند در سطح نسبتاً ثابتی حفظ می شود. دمای پوست و بافت زیر جلدی، خصوصاً در نواحی محیطی، بسیار متغیر است. به طور طبیعی در شبانه روز دمای مرکزی بدن حدود ۱°C تغییر می کند؛ به طوری که این دما در اوایل صبح کمتر و بعد از ظهر بیشتر است.

اگر عمل گرما دادن را برای جامدهای خالص و بلورین ادامه دهیم، وقتی دمای جسم به مقدار مشخصی برسد، افزایش دما متوقف می شود و دما ثابت باقی می ماند. در این حالت، جسم شروع به ذوب شدن می کند و به مایع تبدیل می شود. این دمای ثابت را نقطه ذوب می نامند که به جنس جسم و فشار وارد بر آن بستگی دارد. به استثنای چند مورد خاص، حجم جامدهای بلوری هنگام ذوب شدن افزایش می یابد زیرا حجمی که بلور با آرایش منظم مولکول ها در حالت جامد اشغال می کند نسبت به این

¹. Homeothermic

$$\text{Power} = \frac{\text{enerj}}{\text{time}} = \frac{2500j \cdot 1000 \text{ gr}}{3600 \text{ s}} = 694.4 \text{ w}$$

تفاوت بین دمای مرکزی و دمای سطح بدن (که به طور طبیعی کمتر است)، برای کنترل میزان از دست دادن گرما از بدن بسیار مهم است. دلیل این قضیه آن است که آهنگ از دست دادن گرما از سطح بدن به اختلاف دمای بین سطح و محیط بستگی دارد. رسانش گرمایی پایین بافت خصوصاً بافت چربی، به حفظ یک اختلاف دمایی بزرگ بین قسمت مرکزی و پوسته سطحی بدن اجازه می دهد. جریان گرما از بافت عمقی به پوست عمدتاً از طریق جریان خون - همرفت و داشته شده^۵، می باشد. بنابراین گرما از میان مانع حرارتی ایجاد شده به وسیله چربی زیر پوستی، انتقال داده می شود. این ایده ی اختلاف دمایی بین مرکز و سطح به وسیله ی خطوط هم دما در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.

دمای پوست در نقاط مختلف بدن متفاوت است. پوست ناحیه پیشانی اغلب دمای بالاتری دارد و با نزدیک شدن به قسمت محیطی، دمای پوست مرتباً کمتر می شود؛ تا این که در سطح انگشتان پا، دمای پوست می تواند با دمای اتاق یکسان شود. به هنگام مواجه بدن با سرما، میزان از دست دادن گرما به وسیله انقباض عروقی، محدود و کنترل می گردد. انقباض عروقی تا حد زیادی جریان خون به اندام ها و پوست تنه را کاهش داده و این باعث افت دمای پوست و بافت های زیر پوستی می شود. برعکس زمانی که بدن گرمای زیادی دریافت می کند انبساط عروق پوست، وسیعاً جریان خون و در نتیجه دمای پوست را افزایش می هد. وقتی خطوط ایزوترمیک به سطح نزدیک هستند؛ این نشان می دهد که اکنون تفاوت کمتری بین دمای سطح و دمای مرکزی وجود دارد.

با تخمک گذاری نیز تغییرات چرخه ای در دمای مرکزی اتفاق می افتد. دمای مرکزی بدن در بیشتر بالغین حدود ۳۶/۸ درجه سلسیوس است؛ البته در افراد متفاوت بوده و کودکان نیز معمولاً دمای کمی بیشتر دارند. با انجام فعالیت ورزشی شدید، موقتاً دمای مرکزی بدن بالا می رود. دمای دهان و گوش، که به راحتی اندازه گیری می شوند، به دمای واقعی مرکزی بدن نزدیک ترند؛ البته تغییرات بیشتری نشان می دهند.

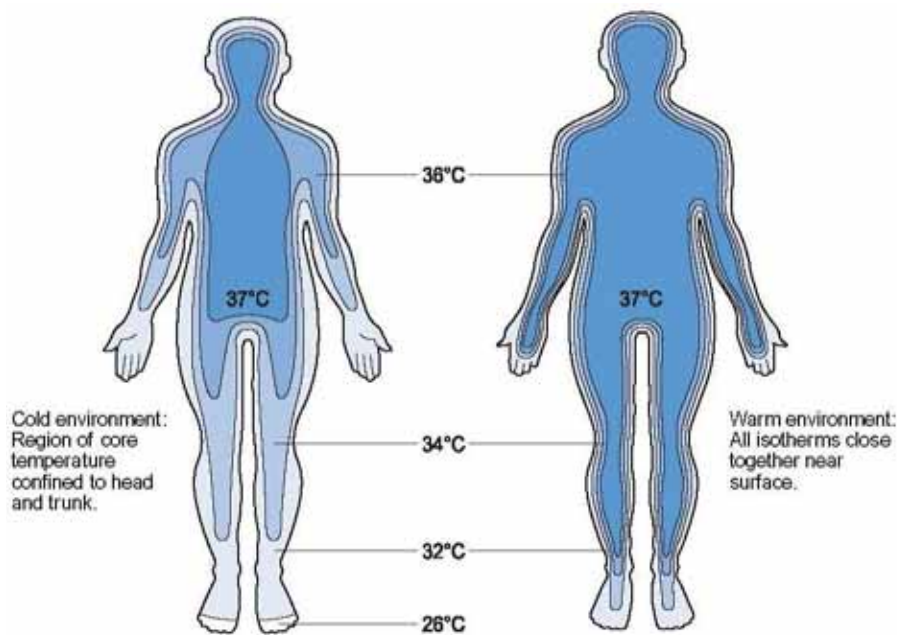
ثابت نگه داشتن دمای مرکزی بدن

دمای مرکزی به تعادل بین از دست دادن گرما^۱ و کسب گرما بستگی دارد (جدول ۳-۱). **عامل اصلی در کسب گرما، متابولیسم است** که در طی تمرین شدید به طور وسیع افزایش می یابد؛ به طوری که حدود ۷۵ درصد از انرژی به کار رفته برای انقباض عضله به صورت گرما ظاهر می شود. **در دمای محیطی متوسط، حدود ۶۰ درصد از دست دادن گرما به تابش^۲ مربوط می شود.** زمانی که دمای محیط بیرون افزایش یافته و به دمای سطح بدن نزدیک می شود، کارایی تابش و رسانش^۳ کم و کمتر می گردد. اگر دمای خارج از دمای بدن بالاتر رود بدن از طریق تابش از اطراف، گرمای بیشتر کسب می کند. در این شرایط، از دست دادن گرما تماماً در اثر تبخیر^۴ عرق از پوست صورت می گیرد. این کار، راه بسیار موثری برای از دست دادن گرما است؛ زیرا تبخیر هر گرم عرق در دمای بدن حدود ۲/۵ کیلو ژول انرژی گرمایی می گیرد. در شرایط مناسب، یک فرد بالغ می تواند در هر ساعت یک کیلو گرم عرق از دست دهد (تبخیر گردد)؛ در نتیجه آهنگ خنک شدن به حدود ۷۰۰ وات می رسد:

1. Heat loss
2. Radiation
3. Conduction
4. Evaporation

5. Forced -convection

علل کسب گرما	علل از دست دادن گرما
<ul style="list-style-type: none"> • متابولیسم پایه • متابولیسم حاصل از انقباض عضله • متابولیسم بافت های دیگر فراتر از سطح پایه مانند گوارش • جذب تابش (تشنش) از محیط • هدایت از اشیاء داغ تر 	<ul style="list-style-type: none"> • تابش به محیط • هدایت به اجسام سرد تر • هدیت گرما به هوا، که مرتبا به وسیله همرفت برداشته می شود • تبخیر عرق از پوست - تعریق نامحسوس - بخار به وسیله همرفت دور می شود • بازدم هوای گرم - همرفت وا داشته شده • دفع ادرار، مدفوع و مایعات دیگر



شکل ۱-۲: خطوط هم دمای بدن، ثبات و استواری دمای مرکزی (تنه و سر) را در محیط های سرد و گرم نشان می دهد

تبادل گرمایی **Counter-current**، جنبه ی دیگری از تنظیم حرارت در بدن است. گرما می تواند بین خون گرم شریانی (که از بخش مرکزی بدن به محیط می آید) و خون وریدی سردتر (که از اندام ها برمی گردد)، مبادله شود. وقتی شریان ها و ورید ها نزدیک به هم قرار گیرند، مثلا در اندام ها، جایی که وریدهای همراه در دو طرف یک شریان میانی قرار می گیرند، گرما می تواند از شریان گرم تر به ورید سرد تر انتقال یابد. با توجه به این که خون شریانی زمانی که به محیط می رود گرما از دست می دهد و خون وریدی وقتی که به سمت مرکز حرکت

زنان با داشتن لایه ی زیر پوستی ضخیم تر، در مقایسه با مردان، کنترل حرارت بهتری دارند؛ به طوری که در دمای محیطی پایین، پوست شان سرد تر بوده و در محیط های گرم تر، پوست شان گرم تر می شود. به این ترتیب، دمای درونی بدن زنان کمتر تحت تاثیر تغییرات دمای محیطی قرار می گیرد اما دمای پوست شان شدید تر متاثر می شود. به نظر می رسد که در مردان، تعریق زود تر شروع شده شود و معمولا وسیع تر است. این قضیه با استحفاظ کمتر به وسیله بافت چربی و اتکاء بیشتر به مکانیسم های کنترل عصبی همخوانی دارد.