

УДК 536.2.083

ТЕПЛООБМЕН

Адибаев Б.М., Алмабаева Н.М., Абдрасилова В.О.

*Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова, Алматы,
e-mail: anmnuri@mail.ru*

В данной статье приводятся законы теплообмена: теплопроводность, конвекция, излучения и их формулы. Рассматривается влияния видов теплопередачи на живой организм: кожу и подкожную жировую клетчатку. Большое значение для температурной чувствительности имеют также физиологические свойства организма – адаптация.

Ключевые слова: теплообмен, теплопроводность, конвекция, излучения, испарение, теплелечения

HEAT TRANSFER

Adibayev B.M., Almbayeva N.M., Abdrasilova V.O.

Kazakh National Medical University named after S.D. Asfendiyarov, Almaty, e-mail: anmnuri@mail.ru

This article summaries the laws of heat transfer: thermal conductivity, convection, radiation and their formulas. Considered the effect of heat transfer on a living organism: the skin and subcutaneous fat. Great value for the temperature sensitivity also have physiological properties of the organism – the adaptation.

Keywords: heat transfer, thermal conductivity, convection, radiation, evaporation, thermotherapy

Теплообменом (теплопередачей) называется передача внутренней энергии от одного тела к другому без совершения работы. Рассмотрим виды теплообмена:

1. Теплообмен посредством теплопроводности происходит между любыми телами – твердыми, жидкими или газообразными, одинаковой или различной природы, при непосредственном соприкосновении. Передача теплоты путем теплопроводности подчиняется закону Фурье:

$$\Delta Q = k_T \frac{dT}{dl} \Delta S \Delta t,$$

где k_T – коэффициент теплопроводности, зависящий от природы тела. Единица измерения в СИ – Дж/(м с К); если количество теплоты выражается в калориях, то кал/(см с °С).

При неравномерном процессе

$$\Phi_s = dQ / dt,$$

где $\Phi_s = k_T S(t_1 - t_2) / l$.

Теплопроводность различных веществ отличается. Наиболее высокую теплопроводность имеют металлы, диэлектрики – невысокую. Наименьшую имеют газы (воздух); влажность значительно повышает теплопроводность. Вещества с низкой теплопроводностью называют теплоизолирующими (пробка, шерсть, войлок и др.) [1].

Теплопроводность тканей организма различна. У жидких частей организма (тканевая жидкость, плазма крови и др.) она близка к теплопроводности воды. Теплопроводность плотных тканей значительно

ниже, особенно у жировой ткани и наружного рогового слоя кожи. Кожа и подкожная жировая клетчатка являются для организма теплоизолирующим слоем. Поэтому температура поверхности кожи ниже температуры глубоких тканей.

Большое значение для сохранения теплоты тела имеет также слой среды, непосредственно примыкающий к коже, в котором происходит основной теплообмен тела с окружающей средой. У человека это – слой воздуха, который находится между поверхностью кожи и одеждой и вместе с воздухом, находящимся в порах самой одежды, является основной тепловой изоляцией для организма.

Передача теплоты путем теплопроводности ускоряется при взаимном перемещении (перемешивании) нагретых и холодных масс среды. Это явление называется теплопередачей при конвекции. Тепловой поток Φ_k , передаваемый от нагретой поверхности к омывающей ее среде:

$$\Phi_k = k_k S(T - T_0) = k_k S(t - t_0),$$

где k_k – коэффициент теплоотдачи при конвекции; единицы измерения Дж/(м²·с·К) и кал/(см²·с·°С).

2. Теплообмен посредством излучения. Атомы или молекулы нагретого тела, находясь в интенсивном тепловом движении, излучают электромагнитные волны, которые уносят энергию, в результате чего тело охлаждается. Если тело поглощает падающие на него электромагнитные волны, то за счет их энергии интенсивность теплового движения атомов или молекул тела повышается

и тело нагревается. Каждое тело излучает и одновременно поглощает волны, падающие на него со стороны других тел [1].

Тепловое излучение свойственно всем телам без исключения и происходит при любых температурах, отличных от абсолютно нулевого. В частности, тепловое излучение происходит и с поверхности тела человека (при длине волны в пределах 5–50 мкм, максимум при 9,5 мкм). Согласно закону Стефана-Больцмана тепловой поток:

$$\Phi_{\text{и}} = k_{\text{и}} S (T_1^4 - T_2^4),$$

где $k_{\text{и}}$ – приведенный коэффициент излучения, единицы измерения Дж/(м²·с·К⁴) и кал/(м²·с·К⁴).

Прибор, в котором поддерживается постоянная температура, называется термостатом. Термостаты имеют большое распространение в клинической лабораторной практике. Термостат, не имеющий подогрева, но долго сохраняющий температуру помещенного в него тела, обычно жидкости, называют термосом. Основу термоса составляет сосуд Дьюара.

3. Энергетический баланс организма. Энергия, необходимая для жизнедеятельности организма, доставляется с пищей в виде энергии химических связей высокомолекулярных пищевых веществ. В организме эти вещества окисляются до более простых, и освобождающаяся при этом энергия превращается в другие виды энергии. Вместе с тем в организме происходит также и образование новых сложных соединений с частичным поглощением освободившейся энергии. Например, в мышцах, где в период восстановления после сокращения происходит ресинтез АТФ (аденинтрифосфат) с образованием макроэргических связей. В этих связях запасается значительная энергия, которая затем в процессе сокращения путем распада АТФ на АДФ (адениндифосфат) и фосфат с освобождением энергии (8÷10) ккал/моль затрачивается на работу, совершаемую мышцей, а также в значительной мере переходит в теплоту (мышцы являются основным источником теплопродукции в организме).

Таким образом, в организме происходят колебания количества внутренней энергии, совершающейся в различных его частях, обусловленные, например, периодичностью процессов приема и усвоения пищи или различием в деятельности организма (сон, покой, работа).

В применении к живому организму закон сохранения энергии (первое начало термодинамики): количество теплоты Q , освобождающееся в организме при усвоении

пищи, затрачивается на компенсацию потери теплоты $S_{\text{в}}$ окружающую среду и на совершаемую организмом работу A , то есть

$$Q = S + A.$$

Это есть уравнение энергетического баланса для организма человека, на основании которого определяется необходимая калорийность пищевого рациона.

Потеря теплоты организмом в окружающую среду представляет собой физический процесс и может происходить путем:

- теплопроводности и конвекции;
- излучения;
- при испарении.

Потеря теплоты путем теплопроводности и конвекции в обычных условиях происходит через воздух. Воздух обладает очень низкой теплопроводностью, однако конвекция в нем может значительно усилить отдачу теплоты. Кроме того, конвекция воздуха усиливает испарение влаги с поверхности кожи. Для уменьшения конвекции стараются ограничить возможность движения окружающего тело воздуха. Для этого тело покрывают одеждой, а стены жилища изолируют пористыми материалами.

Потеря теплоты путем излучения происходит главным образом с наружной поверхности одежды и некоторых открытых поверхностей тела. Излучаемая теплота поглощается окружающими телами, которые имеют более низкую температуру.

Испарение происходит с поверхности кожи и легочных альвеол. В среднем за сутки человек выделяет с выдыхаемым воздухом около 350 г. водяного пара. С поверхности кожи при нормальном потоотделении (при температуре окружающей среды (16–18)°С в сутки испаряется 500 г. пота. Так как удельная теплота испарения $\lambda = 2,42 \cdot 10^6$ Дж/кг = 580 ккал/г, то потеря теплоты составляет в целом $R = 2 \cdot 10^6$ Дж = 433 ккал.

Считается, что теплопотеря организмом человека в условиях умеренного климата составляет 1700 ккал в сутки, которые распределяются примерно следующим образом:

- а) теплопроводностью и конвекцией 20% (540 ккал);
- б) излучением 50% (850 ккал);
- в) испарением 30% (500 ккал).

Если к этому прибавить 600–800 ккал, эквивалентных совершаемой организмом механической работе, то получится суточный расход энергии порядка 2300–2500 ккал.

Теплота, теряемая организмом в окружающую среду, может быть непосредственно измерена с помощью калориметрической камеры, называемой биокалориметра [2].

Интенсивность потока теплоты зависит не только от разности температур поверхности кожи и соприкасающихся с ней тел, но и от других физических свойств этих тел: теплопроводности, теплоемкости, массы, площади поверхности соприкосновения, а также от возможности конвекции, скорости испарения влаги и др.

Большое значение для температурной чувствительности имеют также физиологические свойства организма – адаптация, т.е. понижение чувствительности нервных окончаний при длительном тепловом раздражении, а также терморегуляция, которая в зависимости от внешних условий изменяет температуру поверхности кожи (и ее теплоотдачу). Что дает возможность различных «температурных обманов».

Например, если подержать одну руку в сосуде с горячей водой, а другую – в сосуде с холодной, а затем обе руки перенести в один и тот же сосуд со средней температурой, то первая рука будет ощущать холод, а вторая – тепло.

Теплолечение с помощью нагретых сред могут быть разделены на три группы:

- контактное приложение нагретых сред;
- светотепловое облучение;
- использование теплоты, образующейся в тканях при прохождении высокочастотного электрического тока.

Для теплолечения в основном применяют воду, торф, лечебные грязи, парафин и др.

Вода при тепловых процедурах применяется в виде общих и местных ванн с температурой до 40°C. Вода может содержать значительный запас теплоты, но сравни-

тельно быстро его отдает вследствие относительно высоких теплопроводности и конвекционной способности.

Торф и лечебные грязи обладают не только тепловым, но и биохимическим действием вследствие всасывания из них некоторых веществ через кожу [3].

Весьма распространенной местной тепловой процедурой является аппликация парафина. Расплавленный и нагретый до (60–65)°C парафин с помощью кисти наносят слоями на поверхность подлежащей воздействию области тела, которую затем укутывают сверху одеялом. Парафин обладает благоприятными тепловыми свойствами: достаточно высокой теплоемкостью, низкой температурой плавления (50°C), низкой теплопроводностью, отсутствием конвекции, значительной удельной тепловой твердевания (39 кал/г). Прилежащий к коже слой парафина, охлаждаясь, отвердевает и защищает кожу от действия массы расплавленного парафина с более высокой температурой. При постепенном отвердевании остальной массы парафина выделяется теплота отвердевания, а она дольше сохраняет относительно высокую температуру.

Для тепловых процедур применяют также песок и глину, свойства и способ применения которых близки к торфу или грязи.

Список литературы

1. Тиманюк В.А., Животова Е.Н. Биофизика. – Харьков, 2003.
2. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая биофизика. – М., 2012.
3. Адибаев Б.М., Абирова М.А., Алмабаева Н.М. Биофизика. Т. 1. – Алматы, 2015.