

Лекция 6. Действие метеорологических условий на организм человека

Теплообразование и температура человека

Величина теплообразования в организме зависит от интенсивности обмена в органах и тканях, то в тех из них, где обменные процессы протекают с большой скоростью, образуется большее количество тепла.

Но ткани тела человека обладают невысокой теплопроводностью и при помощи теплопроводения передача тепла от ткани к ткани происходит в небольших количествах и с малой скоростью. Решающую роль в изъятии тепла от тканей, продуцирующих его в больших количествах, и предупреждения их перегревания играет кровь. Обладая высокой теплоемкостью, кровь переносит к тканям с низким уровнем теплообразования отнятое тепло и, таким образом, содействует выравниванию уровня температуры в различных частях тела. Подобным способом, за счет усиления или ослабления кровотока, направленного к поверхностным тканям, осуществляется согревание или охлаждение поверхности тела.

Поскольку тепло отдается в окружающую среду главным образом через кожу, температура поверхностных тканей («оболочки»), как правило, ниже температуры более глубоких тканей («ядра»).

Температура поверхностных тканей тоже неравномерна — она выше на участках тела, прикрытых одеждой и хорошо васкуляризованных. Температура поверхности тела зависит, с одной стороны, от интенсивности переноса к ней тепла кровью из глубоких частей тела, а с другой — от охлаждающего или согревающего действия температуры внешней среды. Таким образом, можно говорить о «пойкилотермной» оболочке тела человека.

Температура глубоких тканей тела за счет теплопереноса кровью распределена более равномерно и составляет около 36,7-37,0°C. Ее суточные колебания в условиях относительного покоя организма находятся в пределах ГС. Поэтому говорят о гомойотермном «ядре» тела человека. В это понятие включают ткани человеческого тела, расположенные на глубине 1 см от поверхности и глубже. В тканях печени, мозга, почек температура несколько выше, чем в других тканях внутренних органов. Температура дистальных отделов верхних и нижних конечностей ниже, чем температура их проксимальных отделов и глубоких тканей тела. Относительное постоянство температуры сохраняется в большей массе глубоких тканей человека, если организм находится в среде с температурой 25-26°C. Это значение температуры для легко одетого человека называют термонеutralной зоной или температурой комфорта. При охлаждающем действии температуры внешней среды масса глубоких тканей, в которых поддерживается относительно постоянная температура, уменьшается, а при согревании — возрастает.

Терморегуляция организма человека

Тепловой гомеостаз является основным условием жизнедеятельности. Образование тепла неразрывно связано с энергетическим обменом. Фактором, обеспечивающим непрерывное течение метаболизма в органах и тканях, является определенная температура крови, которая поддерживается специализированными механизмами саморегуляции.

Человек относится к гомойотермным организмам, которые вырабатывают много тепла и отличаются относительным постоянством температуры тела, незначительно изменяющейся в течение суток. Человек может переносить температурные колебания внутренней среды в диапазоне от 25 до 43 С.

Температурный фактор определяет скорость протекания ферментативных процессов, всасывания, проведения возбуждения и мышечного сокращения.

Температура тела человека различна в поверхностных и глубоких участках. Внутренние части тела, составляющие примерно 50% его массы, называются «ядром». Сюда относят мозг, внутренние органы и кровь. Температура «ядра» относительно стабильна. Например, температура крови правого предсердия и температура нижней трети пищевода вблизи сердца варьирует незначительно и составляет величину порядка 36,7-37 С. В разных участках «ядра» температурные колебания составляют от 0,2 до 1,2 С. Оценка температуры «ядра» проводится в определенных легко доступных участках тела, температура которых практически не отличается от температуры «ядра». Такими участками являются прямая кишка, полость рта и подмышечная впадина. При этом оральная (подъязычная) температура обычно ниже ректальной на 0,2-0,5 С, а аксиллярная (в области подмышечной ямки) – ниже ректальной на 0,5-0,8 С. При плотном прижатии руки к грудной клетке граница внутреннего слоя «ядра» почти доходит до подмышечной впадины, однако для достижения этого должно пройти не менее 10 минут. Для определения температуры ткани используют различные виды термометров, а также оптический метод – термовизиография.

«Оболочкой» называют поверхностный слой тела толщиной 2,5 см, который характеризуется весьма большими различиями температуры в разных участках. Кроме этого эта температура зависит от температуры внешней среды. В правой и левой половине «оболочки» иногда наблюдается асимметрия температур. Средняя температура кожи обнаженного человека составляет (при комфортной внешней температуре) 33-34⁰ С. При этом температура кожи стопы значительно ниже температуры проксимальных участков нижних конечностей и в еще большей степени – туловища и головы. Температура кожи в области стопы в комфортных условиях равна 24-28 С, а при изменении внешних условий – 13-53 С. Температура различных частей тела человека в условиях холода и тепла представлена на рисунке 1.

У большинства млекопитающих температура тела соответствует диапазону 36-39⁰ С. Интенсивность метаболизма (телопродукции) определяется как массой тела, так и величиной отдачи тепла с поверхности тела. В соответствии с этим у животных с небольшими размерами тела и с большим, чем у крупных животных, отношением площади поверхности к величине массы тела теплопродукция на 1 кг массы выше.

Температура тела человека колеблется в течение суток в диапазоне 0,3-1,5 С, чаще 1,0 С. Эти колебания основаны на эндогенном ритме, который определяется «биологическими часами» организма, синхронизированными в режиме «день-ночь». Отчетливо выражен ритм температурных колебаний синхронизированный с менструальным циклом. На ритм суточных температурных изменений накладываются и другие ритмы.

Температура тела определяется соотношением теплопродукции и теплоотдачи. Когда они не соответствуют друг другу, физиологическая система терморегуляции адаптивно меняет теплопродукцию или теплоотдачу. Тем самым обеспечивается относительная стабильность температуры внутренней среды организма. При изменениях температуры окружающей среды в пределах 21-53 С температура тела обнаженного человека может оставаться стабильной в течение нескольких минут.

Теплопродукция (химическая терморегуляция) – это способ поддержания температуры тела на оптимальном для метаболизма уровне, осуществляемый за счет изменения интенсивности метаболических экзотермических реакций, в ходе которых образуется тепло. Наибольшее количество тепла образуется в органах с интенсивным обменом веществ: печени, почках, эндокринных и пищеварительных железах, скелетных мышцах. Меньше тепла образуется в костях, хрящах и соединительной ткани. Прием пищи повышает интенсивность обменных процессов на 30%. Наиболее выраженное специфическое динамическое действие оказывают белки, затем углеводы и жиры. Химическая терморегуляция зависит от ряда факторов: индивидуальных особенностей организма, температуры окружающей среды, интенсивности мышечной работы, характера питания, эмоционального состояния, кислородного обеспечения организма, степени ультрафиолетового облучения, интенсивности видимого света. Различают сократительную и несократительную теплопродукцию.

«Сократительная теплопродукция» связана с произвольными и непроизвольными сокращениями мышц. Произвольные сокращения приводят к многократному увеличению теплообразования, при этом повышаются и теплопотери за счет усиления отдачи тепла конвекцией. То есть произвольные сокращения представляют собой слишком расточительный способ повышения теплопродукции. Непроизвольные сокращения мышц встречаются в двух вариантах: дрожи и терморегуляторного тонуса. Дрожь является

экономным способом теплопродукции, так как этот тип сократительной двигательной активности обеспечивает переход всей энергии мышечного сокращения в тепловую энергию. Терморегуляторный тонус развивается в основном в области мышц спины и шеи. Теплопродукция при этом возрастает на 40-50%. Терморегуляторные тонические сокращения возникают при снижении температуры внешней среды на 2 С относительно уровня комфорта. Такие сокращения имеют характер зубчатого тетануса, близкого к режиму одиночных сокращений и являются более адаптивными, так как в этом случае при многократном периодическом действии холода формируются изменения тканевых структур – структурный след адаптации. Одним из проявлений таких структурно-адаптационных изменений является увеличение в скелетных мышцах количества красных (медленных) волокон, выполняющих в основном тоническую функцию.

Несократительная теплопродукция значительно выражена в адаптированном к холоду организме. Доля такого механизма в обеспечении прироста теплопродукции на холоде может составлять 50-70%. Развивается это явление в различных тканях, но специфическим субстратом является бурая жировая ткань. Эта ткань локализована у человека в области шеи, между лопаток, в средостении около аорты, крупных вен и симпатической цепочки. Количество бурой жировой ткани составляет 1-2% массы тела, но при адаптации может увеличиться до 5% массы тела. Скорость окисления жирных кислот в бурой жировой ткани в 20 раз превышает эту скорость в белой жировой ткани. При действии холода в этой ткани растут кровотоки и уровень обмена веществ, увеличивается температура. Бурая жировая ткань обогревает близлежащие крупные кровеносные сосуды.

Теплоотдача (физическая терморегуляция) – это способ поддержания температуры тела путем отдачи тепла в окружающую среду. Теплоотдача осуществляется за счет физических процессов: теплопроводения, теплоизлучения, конвекции и испарения. Эффективным органом теплоотдачи является кожа благодаря наличию в ней большого количества потовых желез и артериоло-венулярных анастомозов. К поверхности тела потоки тепла переносятся в основном кровью. Кровоток значительно варьирует при изменении просвета сосудов, в частности, состояния артериоло-венулярных анастомозов. Механизмы теплоотдачи в условиях пониженной и повышенной температуры окружающей среды представлены на рисунке 2.

Конвекция – перемещение нагреваемого кожей слоя воздуха вверх и его замещение более холодным воздухом. Конвекция происходит в том случае, когда кожа теплее окружающего воздуха.

Проведение происходит в основном тогда, когда человек погружается в воду, температура которой ниже нейтральной (31-36 С). Ввиду того, что теплопроводность воды в

25 раз выше теплопроводности воздуха, кожа человека охлаждается в воде в 50-100 раз быстрее. Если температура воды близка к нулю, то через 1-3 часа может наступить смерть, так как тело человека охлаждается со скоростью 6 С в час. В воде теплоотдача происходит в несколько раз быстрее еще и потому, что кроме проведения в воде имеет место и конвекция. Увеличение содержания в организме жира ограничивает эффект теплоотдачи в воде путем конвекции.

Теплоизлучение обеспечивается инфракрасными лучами с длиной волны 5-20 мкм. Эти лучи испускаются кожей при наличии рядом находящихся предметов с более низкой температурой. Обнаженный человек может терять таким путем до 60% тепла.

Теплоиспарение составляет около 20% теплоотдачи тела человека в условиях комфортной температуры среды. Это единственный способ отдачи тепла в окружающую среду, если ее температура оказывается равной температуре тела. Путем испарения 1 л воды человек может отдать одну треть всего тепла, вырабатываемого в условиях покоя в течение суток. Существует два варианта испарения воды с поверхности тела: испарение пота в результате его выделения и испарение воды, оказавшейся на поверхности путем диффузии. Потоотделение – составная часть целостной реакции организма на тепловое воздействие. Испарение выделяющегося пота способствует потере тепла. Испарение воды путем диффузии происходит через слизистые оболочки дыхательных путей. Потери тепла, обусловленные дыханием, составляют 10-13% от общей теплоотдачи организма. Выделение тепла происходит также с мочой и калом.

Механизмы регуляции теплопродукции и теплоотдачи

Терморцепция осуществляется свободными окончаниями тонких сенсорных волокон типа А и С. Существуют терморцепторы центральные и периферические.

Кожные терморцепторы передают в центры терморегуляции сигналы об изменениях температуры среды, а также обеспечивают формирование температурных ощущений. Число Холодовых рецепторов кожи во много раз больше числа тепловых рецепторов. Холодовые рецепторы во внутренних органах и тканях также преобладают.

В центральной нервной системе – спинном и среднем мозге, а также в гипоталамусе – имеются центральные терморцепторы, которые называются термосенсорами. Центральные аппараты физиологической системы терморегуляции имеют большое число входных каналов. Так, термосенсоры могут возбуждаться при их непосредственном охлаждении или нагревании на 0,011 С и в результате изменять интенсивность как теплопродукции, так и теплоотдачи организма в целом.

Центр терморегуляции локализуется в гипоталамусе, в котором имеется три вида терморегуляторных нейронов:

1. афферентные нейроны, принимающие сигналы от периферических и центральных терморецепторов;
2. вставочные;
3. эфферентные нейроны, контролирующие активность эффекторов системы терморегуляции.

От периферических терморецепторов информация поступает в медиальную преоптическую область переднего гипоталамуса. В его ядрах происходит сравнение полученных с периферии сигналов с активностью центральных терморецепторов, которые отражают температурное состояние мозга. Эти две информации интегрируются в заднем гипоталамусе. Полученные, в результате интеграции сигналы начинают управлять процессами теплопродукции и теплоотдачи. В заднем гипоталамусе также располагается моторный центр дрожи, связанный с моторными центрами спинного и продолговатого мозга. Терморецепторы кожи информируют ЦНС о повышении или понижении температуры окружающей среды еще до изменения температуры внутренней среды, при этом включаются терморегуляторные механизмы, которые предотвращают это отклонение. Такая регуляция носит название «регуляции по опережению». Моторный центр дрожи работает как «регулятор по отклонению» так как он возбуждается при снижении температуры тела даже на доли градусов. Кроме гипоталамуса в терморегуляции участвует кора больших полушарий. Она работает как «регулятор по опережению».

Регуляция теплопродукции осуществляется: во-первых, соматической нервной системой, которая запускает сократительные терморегуляторные реакции (дрожательные), во-вторых, симпатической нервной системой, которая активирует выделение из бурой жировой ткани норадреналина, включение в метаболические процессы свободных жирных кислот. Кроме этого симпатическая нервная система запускает выделение из коры надпочечников катехоламинов. В результате повышается выделение первичного тепла за счет рассогласования процессов окисления и фосфорилирования.

Регуляция теплоотдачи связана с активностью симпатической нервной системы. Её возбуждение приводит к сужению кровеносных сосудов кожи, а холинергические симпатические нейроны возбуждают потовые железы.

При снижении температуры «ядра» происходит активация холодных гипоталамических, органических и сосудистых терморецепторов. В результате активизируется гипоталамический центр теплопродукции и снижается теплоотдача.

При повышении температуры внутренней среды организма активируются гипоталамические, сосудистые, кожные и органические терморецепторы. Гипоталамический

центр теплоотдачи активизируется, и процесс выработки тепла уменьшается, а теплоотдача увеличивается.

Адаптация к периодическим изменениям температуры, закаливание и здоровье

Температурная акклиматизация – это приспособление к многократным повышениям и снижениям температуры внешней среды. Она является целостной реакцией организма, которая развивается при участии практически всех систем организма.

При действии на организм холода повышение теплопродукции сочетается с постепенно развивающимся снижением КПД мышечных сокращений, в результате большая часть энергозатрат направлена на согревание тела. В результате повышается потребление кислорода, увеличивается легочная вентиляция и сократительная активность сердца, повышается АД. В крови увеличивается концентрация гемоглобина, в мышцах увеличивается количество миоглобина. Происходит перераспределение кровотока: он уменьшается на периферии и увеличивается в центре. Что может приводить к холодovому диурезу, вследствие снижения секреции альдостерона и АДГ.

Пластическая адаптация (толерантность) возникает при длительном действии холода (ныряльщики за жемчугом). Она связана с тем что, порог развития дрожи и повышение теплопродукции смещается в сторону более низких температур. При этом на уровне молекул, клеток и тканей появляются изменения, которые способствуют повышению устойчивости к изменениям температуры внутренней среды организма. Тогда функции организма меняются незначительно, хотя температура тела может быть ниже 36⁰.

У постоянных жителей тропических районов земного шара развивается, напротив, привыкание к теплу: температура тела этих людей повышена даже в покое, и увеличение теплоотдачи начинается у них при температуре тела на 0,50 более высокой, чем у жителей районов с умеренным климатом.

У людей, неоднократно по несколько месяцев работающих в условиях антарктических экспедиций, постепенно развиваются энергетически более экономные реакции, в частности, повышается регулирующая активность парасимпатической нервной системы.

На ранних этапах адаптации используются преимущественно генотипические механизмы, которые в экстремальных условиях избыточны и расточительны. В более поздние сроки резервы организма не только своевременно восстанавливаются, но и увеличиваются – развиваются фенотипические механизмы, которые являются более гибкими и экономными.