**Терморегуляция**

По способности поддерживать постоянную температуру тела животные делятся на пойкилотермных, гомойотермных и гетеротермных.

**Пойкилотермные** организмы (от греч. poikilos — изменчивый) не способны поддерживать температуру тела на постоянном уровне, так как они вырабатывают мало тепла и имеют несовершенные механизмы его сохранения.

**Гомойотермные** организмы (от греч. homeo — подобный, одинаковый), к которым относится и человек, вырабатывают много тепла, отличаются относительным постоянством температуры тела, незначительно изменяющейся в течение суток.

**Гетеротермные** организмы (от греч. heteros — другой) отличаются тем, что колебания температуры их тела превышают границы, свойственные гомойотермным животным. Это характерно для ранних этапов онтогенеза, зимней спячки некоторых гомойотермных животных, а также для млекопитающих и птиц с очень малыми размерами тела. Температурный фактор определяет скорость протекания ферментативных процессов, всасывания, проведения возбуждения и мышечного сокращения. Известно, что в поверхностных и глубоких участках тела человека температура различна. Внутренние области тела, составляющие примерно 50 % его массы, названы «ядром». Сюда относят мозг, сердце, печень и другие внутренние органы. Температура «ядра» варьируют незначительно, составляя величину порядка 36,7—37°С. Вместе с тем в разных участках «ядра» показатели температуры могут несколько. Для клинических целей оценка температуры «ядра» проводится в определенных, легко доступных участках тела, температура которых практически не отличается от температуры внутренних органов. Такими доступными участками являются прямая кишка, полость рта, подмышечная впадина. Известно, что оральная (подъязычная) температура обычно ниже ректальной на 0,2—0,5 °С, аксиллярная (в области подмышечной ямки) ниже 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 около 10 мин. Аксиллярная температура здорового человека равна 36,0— 36,9 °С.

Температура поверхностного слоя тела толщиной 2,5 см, называемого «оболочкой» тела, варьирует в разных областях тела при разной температуре окружающей среды. При комфортной окружающей температуре средняя температура кожи обнаженного человека составляет 33—34 °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 может быть равна 24—28 °С, а при изменениях внешней температуры — 13—53 °С, что определяется двумя факторами — температурой внешней среды и кровоснабжением кожи стопы.

У большинства млекопитающих температура тела соответствует диапазону 36—39 °С, несмотря на широкие вариации размеров тела у различных животных. Интенсивность метаболизма (теплопродукции) определяется как массой тела, так и величиной отдачи тепла с поверхности тела. В соответствии с этим теплопродукция на 1 кг массы должна быть выше у животных с небольшими размерамитела и с большим, чем у крупных животных, отношением площади поверхности к величине массы тела.

Температура тела определяется соотношением двух процессов — теплопродукции и теплоотдачи. Когда они не соответствуют друг другу и возникает угроза изменений температуры тела, процессы регуляции в составе функциональной системы терморегуляции адаптивно меняют теплопродукцию (химическая терморегуляция) и теплоотдачу (физическая терморегуляция). Тем самым обеспечивается относительная стабильность температурной константы внутренней среды организма, что было названо К.Бернаром основой «свободной, независимой жизни». В самом деле, температура тела обнаженного человека может оставаться стабильной в течение нескольких минут при изменениях температуры окружающей среды в пределах 21—53 °С.

Под химической терморегуляцией понимают изменения интенсивности метаболических экзотермических реакций, в ходе которых образуется тепло. При действии на организм человека холода образование тепла может повыситься в 3—5 раз.

**Различают сократительную и несократительную теплопродукцию.**

Сократительная теплопродукция связана с произвольными и непроизвольными сокращениями скелетных мышц.

Произвольные сокращения могут привести к многократному увеличению теплообразования, при этом повышаются и теплопотери за счет усиления отдачи тепла конвекцией.

Одним из видов непроизвольной теплопродукции является дрожь — специфический тип мышечного сокращения, возникающий у человека при значительном снижении температуры внешней среды организма и повышающий образование тепла в несколько раз. В отличие от теплообразования при произвольных мышечных сокращениях теплообразование при дрожи является экономным способом теплопродукции, так как особый тип сократительной активности высокопороговых двигательных единиц при дрожи обеспечивает переход в тепловую энергию почти всей энергии мышечного сокращения.

Другим видом непроизвольной теплопродукции являются терморегуляторные тонические сокращения (терморегуляторный тонус), развивающиеся в области мышц спины, шеи и в некоторых других областях. Теплопродукция при этом возрастает примерно на 40—50 %. Терморегуляторные тонические сокращения скелетных мышц начинаются при снижении температуры внешней среды примерно на 2°С относительно уровня комфорта. Такие сокращения имеют характер зубчатого тетануса, близкого к режиму одиночных сокращений. Терморегуляторный тонус является более тонким средством повышения теплопродукции, чем два предыдущих.

Несократительный термогенез также является механизмом химической терморегуляции, значительно выраженным в адаптированном к холоду организме. Доля такого механизма в обеспечении прироста теплопродукции на холоде может составлять 50—70 %. Развивается это явление в различных тканях. Специфическим субстратом такой теплопродукции считается бурая жировая ткань, после удаления которой устойчивость организма к холоду существенно снижается. Масса бурой жировой ткани, обычно составляющая 1— 2 % массы тела, при адаптации к холоду может увеличиваться до 5 % массы тела. Уровень энергетического обмена данной ткани, выраженный на единицу массы, более чем втрое превышает уровень работающих мышц; скорость окисления жирных кислот в бурой жировой ткани в 20 раз превышает эту ско­рость в белой жировой ткани.

Терморегуляторная роль бурой жировой ткани полностью неясна. Предполагают, что она является богатым источником свободных жирных кислот — субстрата окислительных реакций, скорость которых при действии холода возрастает. В самой бурой жировой ткани при действии холода растут кровоток и уровень обмена веществ, увеличивается температура, несмотря на снижение температуры кожи над этой тканью. Отсюда возникла популярная в настоящее время гипотеза о калориферной роли бурой жировой ткани: при действии холода она обогревает близлежащие крупные сосуды, направляющие кровь к головному мозгу. У взрослого человека эта ткань локализована в области шеи, в межлопаточной области, в средостении около аорты, крупных вен и симпатической цепочки. В зимнее время года у людей, работающих вне помещения, бурая жировая ткань гипертрофирована и более активна, чем в летнее время.

Теплоотдача осуществляется посредством внутреннего и внешнего потоков тепла. Более половины внутреннего потока от источников образования тепла к поверхности тела обеспечивается путем конвекции кровью, остальное тепло проводится через другие ткани. При этом теплопроводность ткани зависит от ее толщины и количества жировой клетчатки, а также от уровня кровотока в этом слое.

Роль кровотока связана с тем, что онможет значительно варьировать за счет изменений просвета сосудов, в частности состояния артериоло-венулярных анастомозов.

Кровоснабжение поверхностных участков тела играет весьма важную терморегуляторную роль, обеспечивая внешний поток тепла. «Игра» сосудов кожи пальцев может менять кровоток в ней в 100 раз. При полной вазодилатации теплоотдача может увеличиться в 8 раз по сравнению с уровнем полной вазоконстрикции.

Теплопроводность тканей, кроме того, определяется характером использования противоточной системы сосудов, которая имеется, например, в конечностях. Так, в условиях холода венозная кровь оттекает в основном не по поверхностным венам, как это бывает в тепле, а по глубоким венам. В результате венозная кровь согревается кровью параллельно проходящих рядом артерий и не охлаждается в той степени, как это бывает при по­верхностном потоке крови.

Однако значительное снижение кровотока в поверхностных слоях тела при действии холода может приводить к нарушению кровоснабжения этих тканей и отморожениям..

Наружный поток тепла обеспечивается путем его проведения, конвекции, излучения и испарения.

1. Если кожа теплее окружающего воздуха, происходит естественная конвекция, т.е. перемещение нагреваемого кожей слоя воздуха вверх и его замещение более холодным воздухом. Форсированная конвекция, имеющая место при движениях тела или воздуха, значительно повышает интенсивность теплоотдачи.

2. При погружении человека в воду, температура которой ниже нейтральной (для большинства людей эта температура воды равна 31—36 °С), может в 2—4 раза повыситься наружный поток тепла за счет *проведения,* так как теплопроводность воды в 25 раз превышает теплопроводность воздуха. Основным механизмом отдачи тепла телом человека в воде является, однако, конвекция. За счет нее охлаждающее действие проточной воды в 50—100 раз превышает воздействие воздуха. Если температура воды близка к нулю («ледяная вода»), то тело человека охлаждается со скоростью 6 °С в час, а через 1— 3 ч может наступить смерть. Плавание в воде, температура которой ниже уровня комфорта, значительно повышает отдачу тепла конвекцией. Увеличение содержания в организме жира может ограничить такой эффект.

3. Теплоотдача излучением обеспечивает­ся инфракрасными лучами с длиной волны 5—20 мкм. Эти лучи испускаются кожей при наличии на некотором расстоянии от нее предметов с более низкой температурой. Обнаженный человек может терять таким путем до 60 % тепла.

4. Около 20 % теплоотдачи тела человека в условиях комфортной температуры среды осуществляется за счет испарения. Этот путь является единственным способом отдачи тепла в окружающую среду, если ее температура оказывается равной температуре тела. Путем испарения 1 л воды человек может отдать треть всего тепла, вырабатываемого в условиях покоя в течение суток. Повышение скорости потоотделения является одним из основных механизмов адаптации к жаркому климату.

Существует два варианта испарения воды с поверхности тела: 1) испарение пота в результате его выделения, 2) испарение воды, оказавшейся на поверхности путем диффузии, — «неощутимые» потери воды. Последний механизм обеспечивает потери воды (до 600 мл в сутки) и тепла, например, через слизистые оболочки воздухоносных путей. Значительный вклад в обеспечение адаптивных механизмов изменения теплоотдачи вносит поведенческий компонент функциональной системы терморегуляции. В условиях холода поведенческая регуляция может быть весьма эффективной, существенно ограничивая контакт организма с внешней средой. Одежда человека примерно вдвое уменьшает потери тепла по сравнению с теплоотдачей обнаженного тела, одежда «арктического типа» может уменьшать отдачу тепла в 5—6 раз.

Зона температурного комфорта человека зависит от характера внешней среды, определяемого ее видом, температурой, влажностью (если этой средой является воздух), скоростью движения, наличием предметов с иной температурой по сравнению с температурой тела. В определенных условиях развивается состояние температурного комфорта, при этом активность механизмов терморегуляции оказывается минимальной. Зона комфорта (термонейтральная зона) при влажности воздуха около 50 % и равенстве температур воздуха и стен помещения для легко одетого человека, находящегося в положении сидя, соответствует температуре 25—26 °С. Для обнаженного человека температура комфорта в этих условиях смещается к 28 °С.

**Регуляция температуры тела.**

Периферические терморецепторы, образованные свободными окончаниями тонких сенсорных волокон типа А (дельта) и С, локализованы в коже и внутренних органах. Существуют и центральные*,* локализованные в гипоталамусе, терморецепторы.

Кожные терморецепторы реализуют передачу в центры терморегуляции сигналов об изменениях температуры среды, а также обеспечивают формирование температурных ощущений. Число холодовых рецепторов кожи во много раз превышает число тепловых рецепторов. Во внутренних органах и тканях также преобладают холодовые рецепторы.

В спинном и среднем мозге, а также в гипоталамусе (более всего в его медиальной преоптической области) найдены центральные терморецепторы, называемые также термосенсорами. Это нейроны, которые могут возбуждаться при их непосредственном охлаждении, нагревании на 0, 1оС или более и в результате изменять интенсивность как теплопродукции, так и теплоотдачи организма в целом. Например, при нагревании преоптической области гипоталамуса немедленно увеличивается потоотделение, расширяются сосуды кожи, при этом теплопродукция уменьшается. Учащение разрядов тепловых нейронов предшествует повышению частоты дыхания, при котором также растет теплоотдача. С задним гипоталамусом в свою очередь связаны термочувствительные структуры среднего и спинного мозга. Таким образом, центральные аппараты функциональной системы терморегуляции имеют большое число входных каналов.

Центр терморегуляции. Ведущую роль в терморегуляции играют структуры гипоталамуса, что было доказано методом перерезок мозга. Так, у кошки перерезка ростральнее гипоталамуса не приводит к существенным изменениям терморегуляции, но после нару­шения связей гипоталамуса со средним моз­гом животные практически теряют способ­ность изменять теплопродукцию и теплоот­дачу при температурном раздражении.

Предполагается наличие в гипоталамусе трех видов терморегуляторных нейронов:

1) афферентных нейронов, принимающих сигналы от периферических и центральных терморецепторов;

2) вставочных, или интернейронов;

3) эфферентных нейронов, аксоны которых контролируют активность эффекторов системы терморегуляции.

От периферических терморецепторов информация поступает в передний гипоталамус — его медиальную преоптическую область. Здесь происходит сравнение полученных с периферии сигналов с активностью центральных термосенсоров, отражающих температурное состояние мозга.

На основе интеграции информации этих двух источников задний гипоталамус обеспечивает выработку сигналов, управляющих процессами теплопродукции и теплоотдачи. Именно здесь обнаружены нейроны, активность которых зависит от локального теплового раздражения как преоптической области гипоталамуса, так и нейронов шейно-грудно-го отдела спинного мозга.

Высшие структуры головного мозга, в частности новая кора, также принимают участие в терморегуляции. Доказана роль условнорефлекторного механизма в организации опережающих вегетативных и поведенческих реакций, направленных на поддержание оптимальной величины температурной константы организма по опережению. В развитии индивидуальной устойчивости к холоду важную роль может играть импринтинг — ранняя форма памяти.

Эфферентные пути терморегуляции**. Система терморегуляции является классическим примером функциональной системы, поскольку не имеет подчеркнуто выраженного собственного исполнительного (эффекторного) компонента.**Регуляция теплопродукции осуществляется соматической нервной системой, запускающей сократительные терморегуляторные реакции, и симпатической нервной системой, активирующей несократительную теплопродукцию. При фармакологической блокаде бета-адрено-рецепторов участие недрожательного механизма теплопродукции исключается. Норадреналин, освобождаемый симпатическими нервными окончаниями, стимулирует выделение из бурой жировой ткани свободных жирных кислот и последующее включение их в метаболические реакции. Выделение катехоламинов из надпочечников вызывает те же эффекты. В результате усиливается рассогласование процессов окисления и фосфорилирования, повышается выделение первичного тепла.

Участие гуморальных механизмов терморегуляции особенно значительно при адаптации к повторным изменениям температуры среды. Роль щитовидной железы в адаптации к холоду человека точно не выяснена. У животных повышение секреции тироксина развивается при действии холода в течение нескольких недель, при этом на 20—40 % увеличивается масса железы. Повышение секреции тироксина приводит к активации клеточного метаболизма. Человек редко подвергается такому охлаждению. Однако в некоторых работах показано, что у солдат, несущих службу в арктических районах длительное время, а также у эскимосов наблюдается повышение основного обмена. Возможно, стимулирующее действие холода на щитовидную железу является одной из причин повышения частоты развития у жителей холодных районов токсического тиреоидного зоба.

Регуляция теплоотдачи связана с активностью норадренергических симпатических нейронов, возбуждение которых может приводить к снижению просвета кровеносных сосудов кожи, и холинергических симпатических нейронов, возбуждающих потовые железы. Расширению кровеносных сосудов кожи в условиях жары может способствовать выделение из потовых желез брадикинина. Имеются данные об участии кининов в формировании холодовой вазодилатации.

При значительном психическом напряже­нии сужение кровеносных сосудов кожи кистей и стоп может сопровождаться выделением в этих участках пота. Такое парадоксальное с точки зрения терморегуляции явление можно назвать эмоциональным потоотделением; оно не является адаптивным и обусловлено чрезмерной активацией симпатической нервной системы.

При отклонении средней интегральной температуры тела на небольшую величину изменяется лишь теплоотдача за счет сосудистых реакций оболочки. Если отклонения температуры сохраняются, то развиваются поведенческие приспособительные реакции, а при высокой внешней температуре также повышается потоотделение. При низкой же температуре внешней среды появляется далее мышечная реакция: сначала повышается тонус, а при снижении внутренней темпера­туры появляется дрожь.

Регулируемым параметром в системе выступает температура внутренней среды организма. Для некоторого устойчивого состояния функциональной системы регулируемая температура — это суммарная температура «ядра» тела, при которой не включаются ни механизмы выделения излишков тепла, ни механизмы, обеспечивающие защиту организма от холода

При тенденции снижения температуры «ядра» тела (температура циркулирующей крови) происходит активация холодовых гипоталамических терморецепторов. Помимо гипоталамических термочувствительных нейронов (холодовые термосенсоры), происходит активация холодовых сосудистых и органных терморецепторов. Их импульсация вызывает дополнительную активацию нейронного аппарата гипоталамического центра химической терморегуляции. В результате повышения активности этого центра усиливается работа периферических аппаратов химической терморегуляции — аппаратов производства тепла в организме. Нейрофизиологическая активность центра физической терморегуляции, а также периферических аппаратов теплоотдачи в этой ситуации снижается. Тем самым обозначившаяся тенденция уменьшения температуры внутренней среды организма блокируется.

*При повышении температуры внутренней среды организма* разыгрываются процессы противоположного плана — активируются гипоталамические тепловые терморецепторы, тепловые рецепторы сосудов, внутренних органов. При этом активируются центральные и периферические механизмы физической терморегуляции. Процесс «сброса» тепла усиливается, продукция тепла в организме тормозится.

Аналогичные механизмы терморегуляции запускаются при температурных воздействиях *на кожные терморецепторы,* реагирующие на изменение температуры внешней среды организма. При действии на терморецепторы кожи пониженной температуры за счет афферентной импульсации происходит возбуждение центра, контролирующего производство тепла, — центра химической терморегуляции. Это приводит к активации периферических механизмов производства тепла в организме, механизмы «сброса» тепла тормозятся. При повышении температуры окружающей среды происходит возбуждение тепловых рецепторов, работа аппаратов «сброса» тепла усиливается, продукция тепла в организме тормозится. Наличие кожных терморецепторов позволяет функциональной системе более тонко организовать процесс стабилизации регулируемой константы на оптимальном уровне.

**Гипертермия** — повышение температуры ядра тела выше 37 °С. Она возникает в результате продолжительного действия высокой температуры внешней среды, относительно недостаточной теплоотдачи организма и избыточной теплопродукции.

Несмотря на то что в течение коротких периодов времени человек может выдерживать температуру тела на уровне 43 °С, предельной для его выживания в течение более длительного периода времени является температура 42 °С. Однако уже при температуре 40—41 °С развиваются тяжелые поражения мозга — отек ткани мозга, гибель нейронов.

**Гипотермия** — снижение температуры ядра тела до 35 °С и более. Она может быть результатом продолжительного пребывания организма в среде с низкой температурой. На начальной стадии охлаждения организма процессы терморегуляции значительно активизируются, однако если оно продолжается, температура тела начинает снижаться; при достижении ею 31 °С происходит потеря сознания, а при температуре 24—28 °С обычно наступает смерть.