**Терморегуляция**

**Температура тела и изотермия**

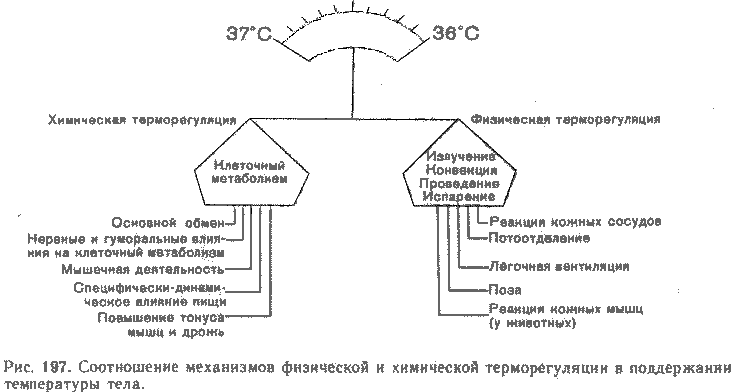
Температура тела человека и высших животных поддерживается на относительно постоянном уровне, несмотря на колебания температуры окружающей среды. Это постоянство температуры тела носит название изотермии. Изотермия свойственна только так называемым гомойотермным, или теплокровным, животным. Изотермия отсутствует у пойкилотермных, или холоднокровных, животных, температура тела которых переменна и мало отличается от температуры окружающей среды. Изотермия в процессе онтогенеза развивается постепенно. У новорожденного ребенка способность поддерживать постоянство температуры тела далеко не совершенна. Вследствие этого может наступить охлаждение {гипотермия) или перегревание (гипертермия} организма при таких темпе-ратураА окружающей среды, которые не оказывают влияния на взрослого человека. Равным образом даже/небольшая мышечная работа, например, связанная с длительным криком ребенка, может повысить температуру тела. Организм недоношенных детей еще менее способен поддерживать П0етоянство температуры тела, которая у них в значительной мере зависит от температуры среды /обитания. Температура органов и тканей, как и всего организма в целом, зависит от интенсивности образования тепла и от величины теплопотерь. Теплообразование происходит вследствие непрерывно совершающихся экзотермических реакций. Эти реакции протекают во всех органах и тканях, но неодинаково интенсивно. В тканях и органах, производящих активную работу — в мышечной ткани, печени, почках, выделяется большее количество тепла, чем в менее активных ---- соединительной ткани, костях, хрящах. Потеря тепла органами и тканями зависит в большой степени от их месторасположения: поверхностно расположенные органы, например кожа, скелетные мышцы, отдают больше тепла и охлаждаются сильнее, чем внутренние органы, более защищенные от охлаждения. Отсюда ясно, что температура разных органов различна. Так, печень, расположенная глубоко внутри тела и дающая большую теплопродукцию, имеет у человека более высокую и постоянную температуру (37,8—38 °С) по сравнению с кожей, температура которой значительно ниже (на покрытых одеждой участках 29,5—33,9 °С) и в большей мере зависит от окружающей среды. Поэтому справедливо говорить о том, что изотермия присуща главным образом внутренним органам и головному мозгу. Поверхность же тела и конечности, температура которых может несколько изменяться в зависимости от температуры окружающей среды, являются в некоторой мере пойкилотермными. При этом различные участки кожной поверхности имеют неодинаковую температуру. Обычно относительно выше температура кожи туловища и головы (33—34 °С). Температура конечностей ниже, причем она наиболее низкая в дистальных отделах. Из сказанного следует, что понятие «постоянная температура тела» является условным. Лучше всего среднюю температуру организма как целого характеризует температура крови в наиболее крупных сосудах, так как циркулирующая в них кровь нагревается в активных тканях (тем самым охлаждая их) и охлаждается в коже (одновременно согревая ее). О температуре тела человека судят обычно на основании ее измерения в подмышечной впадине. Здесь температура у здорового человека равна 36,5—36,9 °С. В клинике часто (особенно у грудных детей) измеряют температуру в прямой кишке, где она выше, чем в подмышечной впадине, и равна у здорового человека в среднем 37,2—37,5 °С. Температура тела не остается постоянной, а колеблется в течение суток в пределах 0,5—0,7 °С. Покой и сон понижают температуру, мышечная деятельность повышает ее. Максимальная температура тела наблюдается в 4—6 ч вечера, минимальная — в 3—4 ч утра. У рабочих, длительно работающих в ночных сменах, колебания температуры могут быть обратными указанным выше. Постоянство температуры тела у человека может сохраняться лишь при условии равенства теплообразования и теплопотери всего организма. Это достигается с помощью физиологических механизмов терморегуляции. Терморегуляция проявляется в форме взаимосочетания процессов теплообразования и теплоотдачи, регулируемых нервно-эндокринным путем. Терморегуляцию принято разделять на химическую и физическую. Химическая терморегуляция осуществляется путем изменения уровня теплообразования, т. е. усиления или ослабления интенсивности обмена веществ в клетках организма. Физическая терморегуляция осуществляется путем изменения интенсивности отдачи тепла.

**Химическая терморегуляция**

Химическая терморегуляция имеет важное значение для поддержания постоянства температуры тела, как в нормальных условиях, так и при изменении температуры окружающей среды. У человека усиление теплообразования вследствие увеличения интенсивности обмена веществ отмечается, в частности, тогда, когда температура окружающей среды становится ниже оптимальной температуры, или зоны комфорта. При обычной легкой одежде эта зона находится в пределах 18—20 °С, а для обнаженного человека 28 °С. Оптимальная температура во время пребывания в воде выше, чем на воздухе. Это обусловлено тем, что вода, обладающая высокой теплоемкостью и теплопроводностью, охлаждает тело в 14 раз сильнее, чем воздух. Поэтому в прохладной ванне обмен веществ повышается значительно больше, чем во время пребывания на воздухе при той же температуре. Наиболее интенсивное теплообразование в организме происходит в мышцах. Даже если человек лежит неподвижно, но с напряженной мускулатурой, окислительные нродес-сы, а вместе с тем и теплообразование повышаются на 10%. Небольшая двигательная активность ведет к увеличению теплообразования на 50—80%, а тяжелая мышечная работа — на 400—500%. В условиях холода теплообразование в мышцах увеличивается, даже если человек находится в неподвижном состоянии. Это обусловлено тем, что охлаждение поверхности тела, действуя на рецепторы, воспринимающие холодовое раздражение, рефлекторно возбуждает беспорядочные непроизвольные сокращения мышц, проявляющиеся в виде дрожи (озноб). При этом обменные процессы организма значительно усиливаются, увеличивается потребление кислорода и углеводов мышечной тканью, что и влечет за собой повышение теплообразования. Даже произвольная имитация дрожи увеличивает теплообразование на 200%. Если в организм введены миорелаксанты — вещества, нарушающие передачу нервных импульсов с нерва на мышцу и тем самым устраняющие рефлекторную мышечную дрожь, при понижении температуры окружающей среды гораздо быстрее наступает понижение температуры тела. В химической терморегуляции, кроме мышц, значительную роль играют печень и почки. Температура крови печеночной вены выше температуры крови печеночной артерии, что указывает на интенсивное теплообразование в этом органе. При охлаждении тела теплопродукция в печени возрастает. Освобождение энергии в организме совершается за счет окислительного распада белков, жиров и углеводов. Поэтому все механизмы, которые регулируют окислительные процессы, регулируют и теплообразование.

**Физическая терморегуляция**

Физическая терморегуляция осуществляется путем изменений отдачи тепла организмом. Особо важное значение она приобретает в поддержании постоянства температуры тела во время пребывания организма в условиях повышенной температуры окружающей среды. Теплоотдача осуществляется путем теплоизлучения (радиационная теплоотдача), конвекции, т. е. движения и перемешивания нагреваемого телом воздуха, теплопроведе-ния, т. е. отдачи тепла веществам, непосредственно соприкасающимся с поверхностью тела, /И испарения воды с поверхности кожи и легких. У человека в обычных условиях потеря тепла путем теплопроведения имеет небольшое/значение, так как воздух и одежда являются плохими проводниками тепла. Радиация, испарение и конвекция протекают с различной интенсивностью в зависимости от температуры окружающей среды. У человека в состоянии покоя при температуре воздуха ' около 20 °С и суммарной теплоотдаче, равной 419 кДж (100 ккал) в час, радиация составляет 66%, испарение воды —19%, конвекция -15% общей потери тепла организмом. При повышении температуры окружающей среды до 35 °С теплоотдача посредством радиации и конвекции становится невозможной и температура тела поддерживается на постоянном уровне исключительно посредством испарения воды с поверхности кожи и альвеол легких. Для того чтобы было ясно значение испарения в теплоотдаче, напомним, что для испарения 1 мл воды необходимо 2,4 кДж (0,58 ккал). Следовательно, если в условиях основного обмена телом человека отдается посредством испарения около 1675—2093 кДж (400—500 ккал), то с поверхности тела должно испаряться примерно 700—850 мл воды. Из этого количества 300—350 мл испаряются в легких и 400—500 мл — с поверхности кожи. Характер отдачи тепла телом изменяется в зависимости от интенсивности обмена веществ. При увеличении теплообразования в результате мышечной работы возрастает значение теплоотдачи, осуществляемой посредством испарения воды. Так, после тяжелого спортивного соревнования, когда суммарная теплоотдача достигала почти 2512 кДж (600 ккал) в час, было найдено, что 75% тепла было отдано путем испарения, 12% — путем радиации и 13 % —посредством конвекции. Одежда уменьшает теплоотдачу. Потере тепла препятствует тот слой неподвижного воздуха, который находится между одеждой и кожей, так как воздух — плохой проводник тепла. Теплоизолирующие свойства одежды тем выше, чем более мелкоячеиста ее структура, содержащая воздух. Этим объясняются хорошие теплоизолирующие свойства шерстяной и меховой одежды. Температура воздуха под одеждой достигает 30 °С. Наоборот, обнаженное тело теряет тепло, потому что воздух на его поверхности все время сменяется. Поэтому температура кожи обнаженных частей тела намного ниже, чем одетых. В значительной степени препятствует теплоотдаче слой подкожной жировой клетчатки в связи с малой теплопроводностью жира. Температура кожи, а следовательно, интенсивность теплоизлучения и теплопрове-дения могут изменяться в результате перераспределения крови в сосудах и при изменении объема циркулирующей крови. На холоде кровеносные сосуды кожи, главным образом артериолы, сужаются; большее количество крови поступает в сосуды брюшной полости и тем самым ограничивается теплоотдача. Поверхностные слои кожи, получая меньше теплой крови, излучают меньше тепла —теплоотдача уменьшается. При сильном охлаждении кожи, кроме того, происходит открытие артериовенозных анастомозов, что уменьшает количество крови, поступающей в капилляры, и тем самым препятствует теплоотдаче. Перераспределение крови, происходящее на холоду—уменьшение количества крови, циркулирующей через поверхностные сосуды, и увеличение количества крови, проходящей через сосуды внутренних органов, способствует сохранению тепла во внутренних органах. Эти факты служат основанием для утверждения, что регулируемым параметром является именно температура внутренних органов, которая поддерживается на постоянном уровне. При повышении температуры окружающей среды сосуды кожи расширяются, количество циркулирующей в них крови увеличивается. Возрастает также объем циркулирующей крови во всем организме вследствие перехода воды из тканей в сосуды, а также потому, что селезенка и другие кровяные депо выбрасывают в общий кровоток дополнительные количества крови. Увеличение количества крови, циркулирующей через сосуды поверхности тела, способствует теплоотдаче посредством радиации и конвекции. Для сохранения постоянства температуры тела человека при высокой температуре окружающей среды основное значение имеет испарение пота с поверхности кожи. Значение потоотделения для поддержания постоянства температуры тела видно из следующего подсчета: в летние месяцы температура окружающего воздуха в средних широтах нередко равна температуре тела человека. Это означает, что организм человека, живущего в этих условиях, не может отдавать образующееся в нем самом тепло путем радиации и конвекции. Единственным путем для отдачи тепла остается испарение воды. Приняв, что среднее теплообразование в сутки равно 10 048— 11 723 кДж (2400—2800 ккал), и зная. что на испарение 1 г воды с поверхности тела расходуется 2,43 кДж (0,58 ккал), получаем, что для поддержания температуры тела человека на постоянном уровне в таких условиях необходимо испарение 4,5 л воды. Особенно интенсивно потоотделение происходит при высокой окружающей температуре во время мышечной работы, когда возрастает теплообразование в самом организме. При очень тяжелой работе выделение пота у рабочих горячих цехов может составить 12 л за день. Испарение воды зависит от относительной влажности воздуха. В насыщенном водяными парами воздухе вода испаряться не может. Поэтому при высокой влажности атмосферы высокая температура переносится тяжелее, чем при низкой влажности. В насыщенном водяными парами воздухе (например, в бане) пот выделяется в большом количестве, но не испаряется и стекает с кожи. Такое потоотделение не способствует отдаче тепла; только эта часть пота, которая испаряется с поверхности кожи, имеет значение для теплоотдачи (эта часть пота составляет эффективное потоотделение). Плохо переносится также непроницаемая для воздуха одежда (резиновая и т. п.), препятствующая испарению пота: слой воздуха между одеждой и телом быстро насыщается парами и дальнейшее испарение пота прекращается.



Человек плохо переносит сравнительно невысокую температуру окружающей среды (32 °С) при влажном воздухе. В совершенно сухом воздухе человек может находиться без заметного перегревания в течение 2—3 ч при температуре 55—50°С. Так как некоторая часть воды испаряется легкими в виде паров, насыщающих выдыхаемый воздух, дыхание также участвует в поддержании температуры тела на постоянном уровне. При высокой окружающей температуре дыхательный центр рефлек-торно возбуждается, при низкой — угнетается, дыхание становится менее глубоким. К проявлениям физической терморегуляции следует отнести также изменение положения тела. Когда собаке или кошке холодно, они сворачиваются в клубок, уменьшая тем самым поверхность теплоотдачи; когда жарко, животные, наоборот, принимают положение, при котором поверхность теплоотдачи максимально возрастает. Этого способа физической теплорегуляции не лишен и человек, «сворачиваясь в клубок» во время сна в холодном помещении. Рудиментарное значение для человека имеет проявление физической терморегуляции в форме реакции кожных мышц («гусиная кожа»). У животных при этой реакции изменяется ячеистость шерстного покрова и улучшается теплоизолирующая роль шерсти. Таким образом, постоянство температуры тела поддерживается путем совместного действия, с одной стороны, механизмов, регулирующих интенсивность обмена веществ и зависящее от него теплообразование (химическая регуляция тепла), а с другой— механизмов, регулирующих теплоотдачу (физическая регуляция тепла). Схема соотношения процессов выработки и отдачи.тепла представлена на рис. 197.

**Регуляция изотермии**

Регуляторные реакции, обеспечивающие сохранение постоянства температуры тела, представляют собой сложные рефлекторные акты, которые возникают в ответ на температурное раздражение рецепторов кожи, кожных и подкожных сосудов, а также самой ЦНС. Эти рецепторы, воспринимающие холод и тепло, названы термо.рецепторами. При относительно постоянной температуре окружающей среды от рецепторов в ЦНС поступают ритмичные импульсы, отражающие их тоническую активность. Частота этих импульсов максимальна для холодовых рецепторов кожи и кожных сосудов при температуре 20—30°С, а для кожных тепловых рецепторов — при температуре 38—43 "С. При резком охлаждении кожи частота импульсации в холодовых рецепторах возрастает, а при быстром согревании урежается или прекращается. На такие же перепады температуры тепловые рецепторы реагируют прямо противоположно. Тепловые и холодовые рецепторы ЦНС реагируют на изменение температуры крови, притекающей к нервным центрам. Терморецепторы ЦНС находятся в передней части гипоталамуса — в преоптической зоне, в ретикулярной формации среднего мозга, а также в спинном мозге. Наличие в ЦНС температурных рецепторов доказывается многими экспериментами. Так, например, если денервированные задние конечности собаки погрузить в холодную воду, это вызывает дрожь мышц головы, передних конечностей и туловища и усиление теплообразования. Терморегулнторные рефлексы, вызываемые раздражением холодовых рецепторов кожи, в данном опыте исключены перерезкой нервов, и эффекты охлаждения конечностей объясняются только понижением температуры крови и раздражением центральных холодовых рецепторов. Дрожь и сужение кожных сосудов, а следовательно, повышение теплообразования и понижение теплоотдачи возникают также при охлаждении сонной артерии, приносящей кровь к головному мозгу. Термочувствительность гипоталамуса была показана в экспериментах на ненаркотизированных кроликах. Животным в область гипоталамуса вживляли специальные термонагреватели. Оказалось, что повышение температуры на 0,41 "С вызывает выраженную терморегуляционную реакцию, проявляющуюся в расширении сосудов уха. Такая реакция проявлялась при температуре среды 22—27 °С. Когда же температуру среды снижали до 17--20°С, то для получения сосудорасширяющей реакции нагревание гипоталамуса нужно было увеличить на 0,84 °С. Таким образом, понижение окружающей температуры, а следовательно, изменение характера температурного воздействия на экстерорецепторы уменьшает температурную чувствительность гипоталамуса. Участие гипоталамуса в терморегуляции обеспечивает взаимодействие восприятия сигналов об изменении температуры окружающей и внутренней среды. Именно в гипоталамусе расположены основные центры терморегуляции, которые координируют многочисленные и сложные процессы, обеспечивающие сохранение температуры тела на постоянном уровне. Это доказывается тем, что разрушение гипоталамуса влечет за собой потерю способности регулировать температуру тела и делает животное пойкилотермным, в то время как удаление коры большого мозга, полосатого тела и зрительных бугров заметно не отражается на процессах теплообразования и теплоотдачи. При изучении роли различных участков гипоталамуса в терморегуляции обнаружены ядра, изменяющие процесс теплообразования, и ядра, влияющие на теплоотдачу. Химическая терморегуляция (усиление теплообразования, мышечная дрожь) контролируется хвостовой частью гипоталамуса. Разрушение этого участка мозгового ствола у животных делает их неспособными переносить холод. Охлаждение животного после такой операции не вызывает дрожи и компенсаторного повышения теплообразования. Физическая терморегуляция (сужение сосудов, потоотделение) контролируется передней частью гипоталамуса. Разрушение данной области—центра теплоотдачи— не лишает животного способности переносить холод; но после операции оно быстро •перегревается при высокой температуре окружающей среды (так как поврежден механизм, обеспечивающий физическую терморегуляцию). Центры теплообразования и центры теплоотдачи находятся между собой в сложных взаимоотношениях и взаимоподавляют друг друга. Терморегуляторпые рефлексы могут осуществляться и спинным мозгом. Охлаждение спинного мозга животного, у которого этот отдел ЦНС отделен перерезкой от вышележащих отделов, вызывает мышечную дрожь и сужение периферических сосудов. Значение спинного мозга в терморегуляции состоит не только в том, что он является проводником сигналов, идущих от периферических рецепторов к головному мозгу, и влияний, поступающих от головного мозга к мышцам, сосудам и потовым железам, но и в том, что в спинном мозге находятся центры некоторых терморегуляторных рефлексов, имеющих, правда, несколько ограниченное регуляторное значение. Так, после перерезки мозгового ствола ниже гипоталамических центров терморегуляции способность организма усиливать теплообразование и повышать интенсивность окислительных процессов на холоду резко понижена и не обеспечивает постоянной температуры тела. Равным образом после перерезки мозгового ствола или отделения спинного мозга от продолговатого резко нарушена и физическая терморегуляция, поэтому при повышении окружающей температуры животное легко перегревается, так как одни спинальные терморегуляторные механизмы неспособны обеспечить постоянство температуры тела. Хотя удаление коры большого мозга заметно не отражается на процессах теплообразования и теплоотдачи, однако неправомерно делать вывод, что это образование не влияет на тепловой обмен. Эксперименты на животных и наблюдения на людях показали возможность условнорефлекторных изменений теплопродукции и теплоотдачи, которые осуществляются корой большого мозга. В осуществлении гипоталамической регуляции температуры тела участвуют железы внутренней секреции, главным образом щитовидная и надпочечники, образование гормонов в которых контролируется нервной системой. Участие щитовидной железы в терморегуляций доказывается тем, что введение в кровь животного сыворотки крови другого животного, которое длительное время находилось на холоде, вызывает у первого повышение обмена веществ. Такой эффект наблюдается лишь при сохранении у второго животного щитовидной железы. Очевидно, во время пребывания в условиях охлаждения происходит усиленное выделение в кровь гормона щитовидной железы, повышающего обмен веществ и, следовательно, образование тепла. Участие надпочечников в терморегуляции связано с выделением ими в кровь адреналина, который, усиливая окислительные процессы в тканях, в частности, в мышцах, повышает теплообразование и суживает кожные сосуды, уменьшая теплоотдачу. Поэтому адреналин способен вызывать повышение температуры тела {адреналиновая гипер-термия).

**Гипотермия и гипертермия**

Если человек длительное время находится в условиях значительно повышенной или пониженной температуры окружающей среды, то механизмы физической и химической регуляции тепла, благодаря которым в обычных условиях сохраняется постоянство температуры тела, могут оказаться недостаточными: происходит перегревание тела—гипертермия или переохлаждение— гипотермия. Гипотермия — состояние, при котором температура тела ниже 35 °С. Быстрее всего гипотермия возникает при погружении в холодную воду. При этом вначале наблюдается возбуждение симпа--тического отдела вегетативной нервной системы и рефлекторно ограничивается теплоотдача и усиливается теплопродукция. Последнему способствуют сокращения мышц — мышечная дрожь. Через некоторое время температура тела все же начинает падать. При этом наблюдается состояние, подобное наркозу: исчезновение чувствительности, ослабление рефлекторных реакций, понижение возбудимости нервных центров. Резко понижается интенсивность обмена веществ, замедляется дыхание, урежаются сердечные сокращения, снижается сердечный выброс, понижается артериальное давление (при температуре тела 24—25 °С оно может быть равно 15—20% исходного).' В последние годы искусственно создаваемая гипотермия с охлаждением тела до 24—28 °С вошла в практику хирургических клиник, осуществляющих операции на сердце и ЦНС. Смысл этого мероприятия состоит в том, что гипотермия значительно снижает обмен веществ головного мозга, а следовательно, потребность этого органа в кислороде. Поэтому становится переносимым более длительное обескровливание мозга (вместо 3—5 мин при нормальной температуре до 15—20 мин при 25—28 °С). а это означает, что при гипотермин больные легче переносят временное выключение сердечной деятельности и остановку дыхания. Гипотермию прекращают путем быстрого согревания тела. Для того чтобы исключить начальные приспособительные реакции, направленные на поддержание температуры тела при искусственной гипотермии, применяют препараты, выключающие передачу импульсов в симпатическом отделе вегетативной нервной системы (ганглиоплегические препараты) и прекращающие передачу импульсов с нервов на скелетные мышцы (мио-релаксанты}. При относительно кратковременных и не чрезмерно интенсивных воздействиях холода на организм изменений теплового баланса и понижения температуры внутренней среды не происходит. В то же время это способствует развитию простудных заболеваний и обострению хронических воспалительных процессов. В этой связи важную роль приобретает закаливание организма. Закаливание достигается повторными воздействиями низкой температуры возрастающей интенсивности. У ослабленных людей закаливание следует начинать с водных процедур нейтральной температуры (32 °С) и понижать температуру на 1 °С через каждые 2—3 дня. После прекращения тренировки закаливание исчезает, поэтому выполнение режима закаливания должно быть непрерывным. Эффект закаливания проявляется не только при водных процедурах, но и при воздействии холодного воздуха. При этом закаливание происходит быстрее, если воздействие холода сочетается с активной мышечной деятельностью. Гипертермия — состояние, при котором температура тела поднимается выше 37 °С. Она возникает при продолжительном действии высокой температуры окружающей среды, особенно при влажном воздухе, и, следовательно, небольшом эффективном потоотделении. Гипертермия может возникать и под влиянием некоторых эндогенных факторов, усиливающих в организме теплообразование (тироксин, жирные кислоты и др.). Резкая гипертермия, при которой температура тела достигает 40—41 °С, сопровождается тяжелым общим состоянием организма и носит название теплового удара. От гипертермии следует отличать изменения температуры, когда внешние условия не изменены, но нарушается сам процесс терморегуляции, чаще всего под влиянием микроорганизмов. Примером такого нарушения является инфекционная лихорадка. Одной из причин ее возникновения является то. что гипоталамические центры регуляции теплообмена обладают высокой чувствительностью к некоторым химическим соединениям, в частности к бактерийным токсинам. Введение непосредственно в область переднего гипоталамуса минимального количества бактерийного токсина сопровождается многочасовым повышением температуры тела.