

Лекция 7

Стабилизирующие функции биологических систем. Гомеостат У.Р.Эшби. Терморегуляция живых систем

Отдельные физиологические системы организма связаны в единую систему высшего порядка - целостный живой организм. При анализе биологических управляющих систем, каждая из них может отрабатывать одновременной несколько механизмов управления.

Рассмотрим системы, выполняющие функции простого регулирования; стабилизации (гомеостаза), слежения и работы по какой-либо программе. Задачей стабилизирующих систем является поддержание выходной величины на постоянном уровне ($y = \text{const}$), обусловленном нормальной жизнедеятельностью. Такие системы называются гомеостатическими. Динамика регулирования в них заключается в правильном выборе управляющего воздействия, позволяющего компенсировать влияние возмущающего воздействия, а также влияние изменения параметров подсистем этого контура.

Английский кибернетик У.Р. Эшби построил техническую модель системы, названная гомеостатом, которая имитирует процессы стабилизации существенных переменных в условиях, когда заранее неизвестно, в каком направлении надо изменять несущественные переменные. (**Уильям Росс Эшби** (англ. *William Ross Ashby*; 6 сентября 1903, Лондон, Англия, — 15 ноября 1972) — английский психиатр, специалист по кибернетике, пионер в исследовании сложных систем).

Гомеостат Эшби состоит из четырех одинаковых блоков (рис. 6.1). В каждом блоке имеется гальванометр (используется для измерения постоянного тока, протекающего в цепи. Когда постоянный ток проходит сквозь катушку, в ней возникает магнитное поле. Оно взаимодействует с полем постоянного магнита, и катушка, вместе со стрелкой, поворачивается, указывая на протекающий через катушку электрический ток.), стрелка

которого связана с движком реостата R (**Реостат** (*потенциометр, переменное сопротивление, переменный резистор*; от др.-греч. $\rho\acute{\epsilon}\omicron\varsigma$ «поток» и $\sigma\tau\alpha\tau\acute{\omicron}\varsigma$ «стоящий») —электрический аппарат для регулировки и получения требуемой величины сопротивления. Как правило, состоит из проводящего элемента с устройством регулирования электрического сопротивления. Изменение сопротивления может осуществляться как плавно, так и ступенчато. Изменением сопротивления цепи, в которую включен реостат, возможно достичь изменения величины тока или напряжения). Электромагнит гальванометра снабжен обмотками, получающими питание через реостаты гальванометров других трех блоков и через переключатели Π , изменяющие направление тока в этих обмотках. Переключатели срабатывают в случае, если стрелка гальванометра достигает крайнего положения. В оригинальной модели Эшби есть и другие вспомогательные элементы, не имеющие принципиального значения.

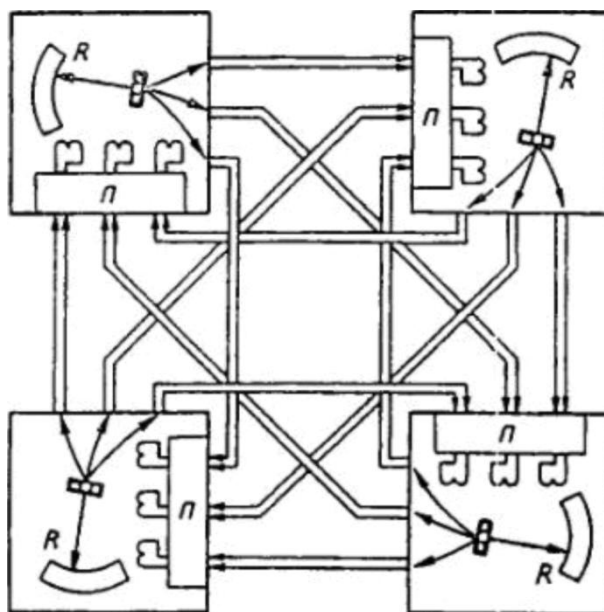


Рис. 6.1. Схема гомеостата Эшби

Если установить стрелки гальванометров и переключатели в случайные положения и включить питание, то сразу начнется перемещение стрелок и связанных с ними движков реостатов всех гальванометров, поскольку перемещение стрелки каждого гальванометра изменяет токи, поступающие в

обмотки остальных гальванометров. При этом в редких случаях движение прекращается раньше, чем стрелка хотя бы с одного гальванометра отклонится до упора. Однако в последнем случае произойдет изменение направления тока в какой-нибудь обмотке, и направление перемещения стрелки соответствующего гальванометра изменится на противоположное. Спустя большее или меньшее число таких циклов гомеостат сам находит такое взаимное соединение обмоток и реостатов, при котором вся система оказывается в промежуточных положениях, не доходя до упоров.

Аналогичные процессы можно наблюдать, если по достижении гомеостатом равновесия принудительно отклонить стрелку какого-нибудь гальванометра или переключить направление тока в одной из обмоток.

Существенными переменными здесь являются положения стрелок, которые в стационарном состоянии не должны доходить до границ, определяемых упорами.

В теорию этой модели введено представление о так называемых ступенчатых функциях. Это - скачкообразное изменение рабочих характеристик или структуры системы, возникающее в случае, если действовавший до этого механизм не смог справиться с задачей стабилизации. Именно такого рода ступенчатыми функциями являются подключения новых, более мощных механизмов регулирования (мышечного, дыхательного в системе терморегуляции), когда вследствие сильного изменения внешних условий (температуры) первоначально введенные механизмы (окислительный, кровеносный) оказываются недостаточными. Кроме того, ступенчатые функции резко расширяют ассортимент доступных состояний системы и являются мощным средством обеспечения устойчивости систем с большим числом взаимосвязанных переменных.

Использование широкой сети датчиков не только регулируемой величины, но и воздействий, способных ее изменять, и наличие целого ряда регулирующих механизмов различной природы и мощности в сочетании со

ступенчатыми функциями управления придают гомеопатическим системам завидную эффективность, гибкость и высокую надежность.

Терморегуляция живых систем

В каждом живом организме происходят процессы обмена, сопровождающиеся выделением тепла, чтобы температура тела поддерживалась практически на постоянном уровне, выделившееся тепло должно рассеиваться во внешнюю среду с такой постоянной средней скоростью, которая компенсировала бы теплообразование. У *гомойтермных* или «теплокровных» животных (птиц, млекопитающих) для этой цели выработалась активная система терморегуляции, а у остальных, т.е. *пойкилатермных* или «холоднокровных» имеется лишь *пассивная* система терморегуляции.

Возникновение системы терморегуляции в процессе эволюции объясняется тем, что независимость метаболической активности животного от внешних температурных условий создает преимущество для выживания, т.к. в противном случае процессы клеточного обмена были бы слишком сильно подчинены изменениям внешней температуры.

Тело представляет собой материальную массу, обладающую определенной теплоемкостью, т.е. в любой момент времени количество тепловой энергии, накопленной этим телом, примерно пропорционально его температуре. В условиях теплового равновесия тело должно равномерно рассеивать тепло с интенсивностью, равной интенсивности внутреннего теплообразования. Как только это равенство нарушится, внутренняя температура тела начинает меняться с соответствующей скоростью.

Функциональная схема системы терморегуляции показана на рис. 6.2.

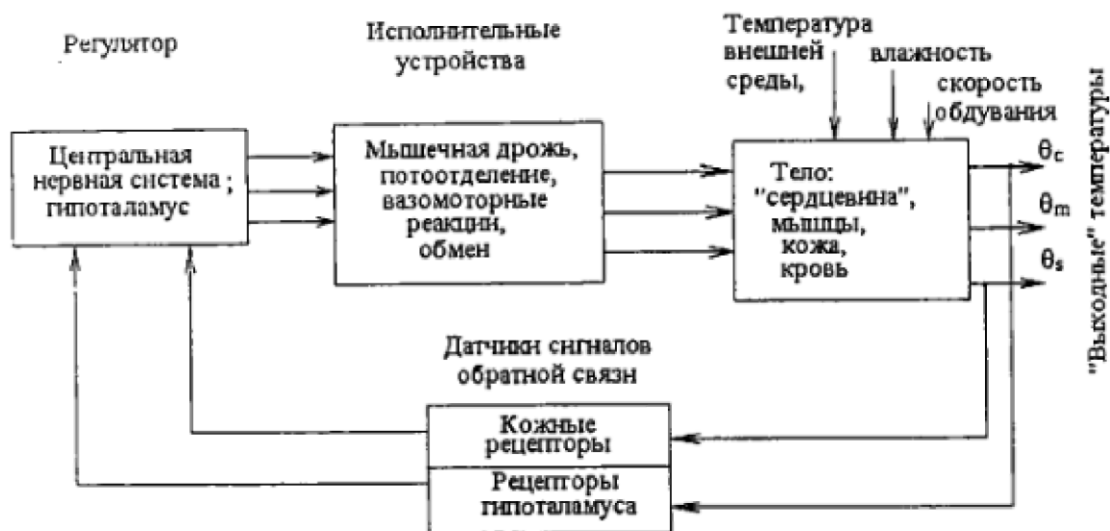


Рис. 6.2. Система терморегуляции в организации человека:
 $\theta_c, \theta_m, \theta_s$ – температуры сердцевины, мышц, кожи

Необходимо различать зоны объекта управления {см. раздел 5.2).

I, Внутренняя область или сердцевина тела, охватывает все тело, кроме скелетных мышц и кожи, включая внутренности и центральную нервную систему. «Сердцевина» неоднородна, но на эту зону приходится наибольшая часть основного теплообмена. Величина основного обмена регулируется эндокринной системой и может служить дополнительным устройством в системе терморегуляции.

1. Скелетные мышцы обычно окружают внутренние области, и на их долю приходится несколько больше 1/3 веса человека. При охлаждении тела мышцы начинают непроизвольно сокращаться (мышечная дрожь). Эти движения нескоординированы и их энергия превращается только в тепло, а не в механическую работу для координированных движений.

2. Кожа служит внешним покровом для внутренних областей и скелетных мышц, В системе терморегуляции она играет роль тепло-изолятора. Это свойство находится в прямой зависимости от вазомоторных реакций, вызывающих уменьшение притока крови к поверхности тела (сужение сосудов) каждый раз, когда нужно уменьшить теплоотдачу, и

усиление притока (расширение сосудов) в противном случае. Кроме того, существует механизм потоотделения через поры кожи, вызывающий испарение воды с поверхности кожи, и следовательно. увеличение теплоотдачи.

Если температура кожи выше температуры окружающей среды, то, помимо испарения, кожа теряет тепло от конвекции и излучения (см. математическую модель). Когда температура внешней среды выше температуры кожи, все другие механизмы теплообмена, кроме испарения, приводят лишь к повышенной температуре тела.

Кровь играет важную роль в обеспечении теплообмена между указанными тремя зонами, а потому ее в идеале следовало бы рассматривать как четвертую зону объекта управления, но для упрощения модели выпустим эту зону из рассмотрения.

В организме человека имеются как глубоко расположенные центральные терморцепторы, а так и терморцепторы, расположенные в коже, и ряд других датчиков температуры (например, в дыхательном тракте).

Рассмотрим, уточненную схему терморегуляции тела человека, предложенную Г. Ханзелем] (рис. 6.3).

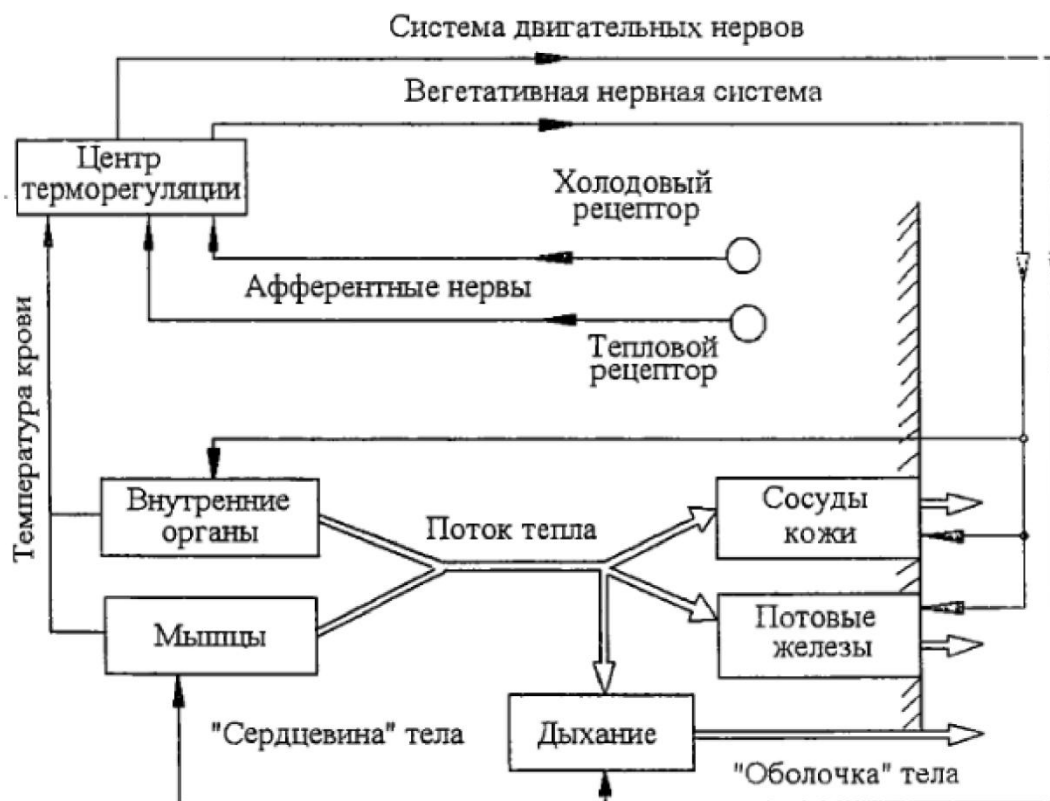


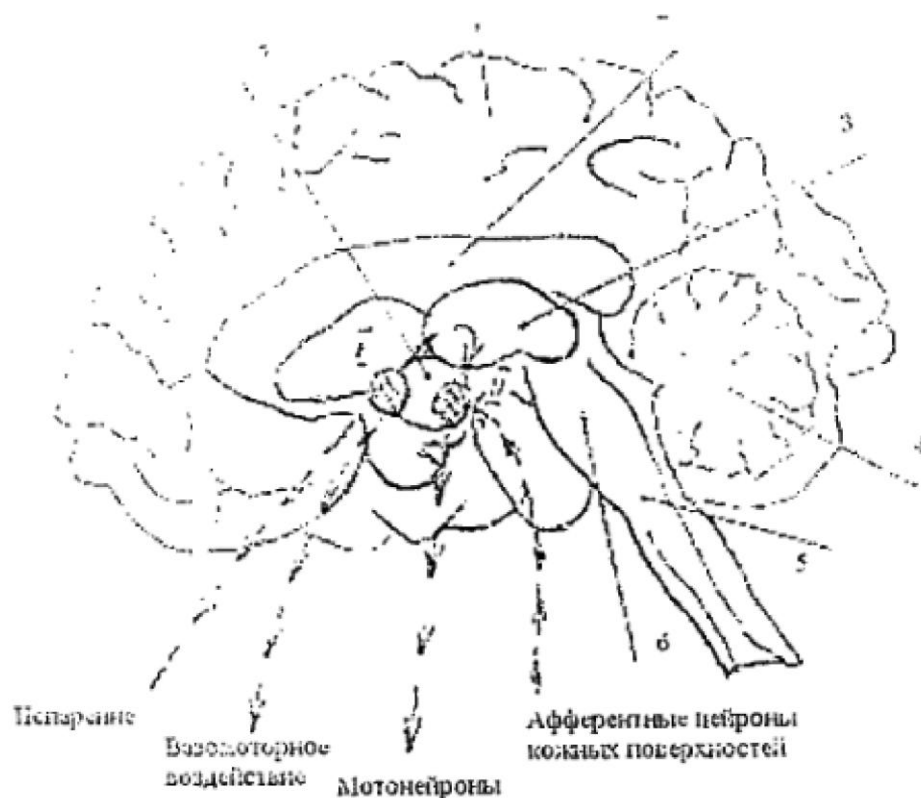
Рис. 6.3. Схема механизма терморегуляции тела

Холодовые рецепторы реагируют в первую очередь на понижение температуры, а тепловые на повышение.

Терморецепторы гипоталамуса расположены вблизи центра терморегуляции в гипоталамусе. О механизме их действия известно мало, но обнаружена хорошая корреляция между температурой передней части гипоталамуса и уровнем местного «медленного потенциала» в этой области.

Считается, что функции терморегулятора выполняет гипоталамус, причем эти функции распределены между двумя его центрами: *центром теплообразования*, расположенным в заднем отделе и *центром теплоотдачи* - в переднем.

Центр теплообразования (по Бензингеру) управляет основным обменом в мышцах, используя информацию, полученную от кожных и внутренних терморецепторов (рис. 6-4).



6.4. Схема терморегуляторной функции гипоталамуса:

I, II – передний и задний отелы; 1. – кора; 2 – мозолистое тело;

3 – таламус; 4 – мозжечок; 5 – продолговатый мозг;

6 – варолиев узел; 7 - гипоталамус

Температура тела зависит от баланса процессов теплопродукции и теплоотдачи. Теплопродукция в живом организме обусловлена окислительными процессами, происходящими во внутренних органах и мышцах, причем мышечные сокращения сопровождаются также вторичным выделением тепла за счет энергии механического движения. Теплоотдача в значительной мере зависит от состояния окружающей человека среды (температуры и влажности воздуха, скорости ветра и т.д.), а также от позы тела (с этим связана величина теплоотдающей поверхности), положения волос (в большой мере у животных), процессов потоотделения, дыхания и кровотока в коже.

Для поддержания нормальной температуры тела прежде всего необходим ее контроль. Контроль осуществляется разветвленной сетью нервных окончаний, расположенных в коже и реагирующих на повышенную

(тепловые рецепторы) или пониженную (холодовые рецепторы) температуру. На рис. 6.5 показано только два таких рецептора - датчика температуры кожи. Их сигналы поступают по так называемым афферентным нервам в мозг, в район гипоталамуса, где, как предполагают, находится центр терморегуляции, который одновременно контролирует температуру крови и, следовательно, воспринимает информацию о температуре омываемых ею внутренних органов, мышц. Если поступающие в центр терморегуляции данные свидетельствуют о нормальном температурном режиме организма, то никаких команд, направленных на изменение температуры тела, здесь не вырабатывается. Если же баланс между теплопродукцией и теплоотдачей нарушается, то возникающее вследствие этого отклонение температуры от нормальной вызывает усиление потока сигналов от тепловых или Холодовых рецепторов в центр терморегуляции. Здесь принимается решение о необходимых защитных действиях организма, и соответствующие команды направляются к регулирующим органам и системам, влияющим на производство или отдачу тепла. При нарушении теплового баланса, в первую очередь, включаются механизмы терморегуляции, управляемые вегетативной нервной системой. На холоде усиливаются окислительные процессы во внутренних органах, уменьшается приток крови к поверхности тела за счет сужения кровеносных сосудов в коже. Повышенная температура воздуха вызывает усиление кровотока в коже и потоотделение. Если этих мер оказывается недостаточно, то вступают в действие механизмы терморегуляции, управляемые системой двигательных нервов. На морозе напрягаются мышцы, появляется дрожь, у животных и птиц изменяется положение волос и перьев, голова и конечности прижимаются к туловищу, В сильную жару учащается дыхание, мышцы тела стремятся придать ему позу, при которой поверхность теплоотдачи максимальна.

Легко заметить, что все эти механизмы направлены на поддержание высокого постоянства температуры в "сердцевине" тела, где находятся жизненно важные органы и системы, причем комфорту "сердцевины"

приносится в жертву температурный режим "оболочки" - кожи, поверхностных слоев тела. Действительно, сужение кровеносных сосудов в коже на холоде предупреждает переохлаждение крови ценой охлаждения "оболочки" тела. Характерно, однако, что центр терморегуляции имеет термодатчики, вынесенные на самую периферию тела. Этим достигается самое быстрое информирование системы терморегуляции о температурных изменениях в окружающей среде - еще до того, как они начинают влиять на температуру "сердцевины"¹¹ тела. В результате этого перенастройка всей системы может осуществляться еще до изменения стабилизируемой величины в ответ на предвестник такого изменения, Заблаговременное получение "пусковой" информации повышает эффективность приспособительных реакций.



Рис. 6.5. Система терморегуляции в организме человека: (подробная функциональная схема)