

Лекция

БИОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ОРГАНИЗМА

План лекции

- **1. Введение**
- **2. Кибернетические принципы и схемы авторегуляций в биологических системах**
- **3. Терморегуляция и изотермия у человека**
- **4. Тепловой баланс и способы теплообмена**

1.ВВЕДЕНИЕ

- **Деятельность всех органов, т.е. термодинамических систем человека и животных, характеризуется определенными показателями, имеющими те или иные диапазоны колебаний. Физиологическая норма находится в рамках этих колебаний.**

- **Основоположником представления о внутренней среде организма и её постоянстве является К. Бернар. Он говорил, что высшие животные как бы “сами себя поместили в теплицу, создав свою стабильную внутреннюю среду, и обеспечив тем самым известную независимость от внешней среды”.**

- **Регулируемое постоянство внутренней среды было названо американским физиологом У. Кенноном гомеостазисом.**
- **Термин характеризует динамическое постоянство в поддержании разнообразных констант организма: температуры тела, состава крови, кровяного давления и т.д.**

–Основным механизмом поддержания постоянства показателей деятельности разных систем организма является саморегуляция.

2. КИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ И СХЕМЫ АВТОРЕГУЛЯЦИЙ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

- **Составной частью
биофизики сложных систем
является биологическая
кибернетика**

- Кибернетика – наука об общих законах процессов организации, управления и переработки информации в сложных системах. Кибернетический подход, к изучению функционирования органов и организма в целом, позволяет объяснить особенности управления и саморегулирования биологических систем в норме и патологии.

- **Управление (регуляция) – процесс изменения состояния или режима функционирования системы в соответствии с поставленной перед ней задачей Всякая регулируемая система содержит**
- **Управляющий орган (У.О.) и исполнительный орган (И.О.).**

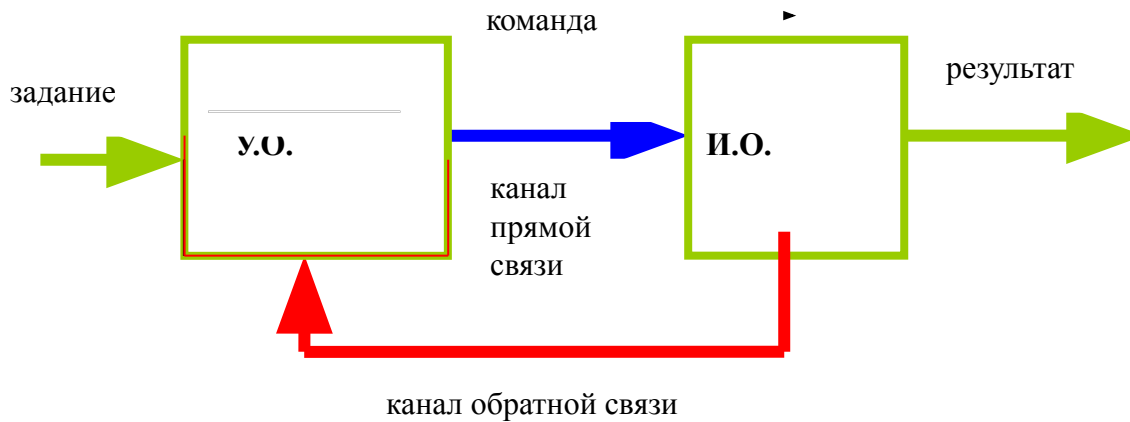


Рис.1. Схема элементарной системы авторегуляции

- Рис.1. Элементарная схема системы авторегулирования.

- Например:
- головной мозг (управляющий орган) посылает команды мышцам (исполнительный орган) по каналам прямой связи, а по каналам обратной связи в головной мозг поступают сведения о выполнении команды
- (например, о соответствующем двигательном акте.)

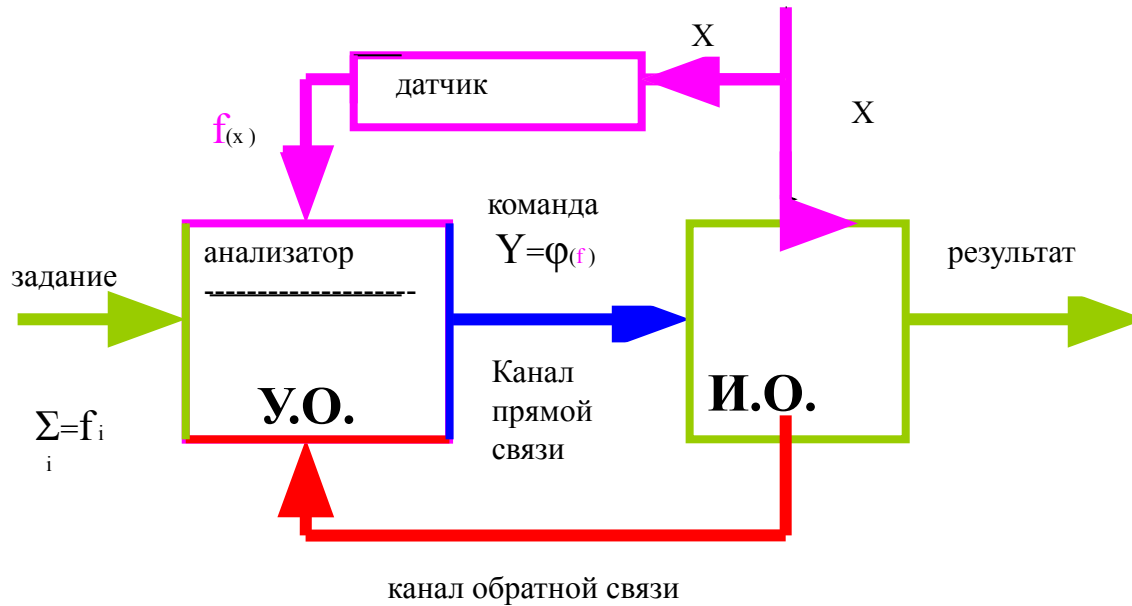
- Биологические системы относятся к саморегулируемым системам, т.е. к таким системам, которые обладают способностью поддерживать свое состояние или режим функционирования на определенном заданном уровне при непредвиденных внешних воздействиях.

- .
- То есть под **саморегулированием** подразумевается процесс с помощью которого принудительно поддерживается заранее заданное значение определенного параметра (физического, химического, физиологического)

- Восстановление и сохранение этого постоянного уровня данной величины происходит даже тогда, когда какие-либо внешние воздействия пытаются изменить этот заданный уровень.

- В теории автоматического регулирования выделяются два основных способа регулирования: **регулирование по возмущению**
- и **регулирование по отклонению**

- Система **регулирования по возмущению** позволяет устранить результаты непредвиденного внешнего воздействия на систему с целью сохранения заданного режима функционирования или сохранения прежнего параметра. Для этого система должна содержать в своей памяти информацию о возможных последствиях данного возмущения (внешнего воздействия).

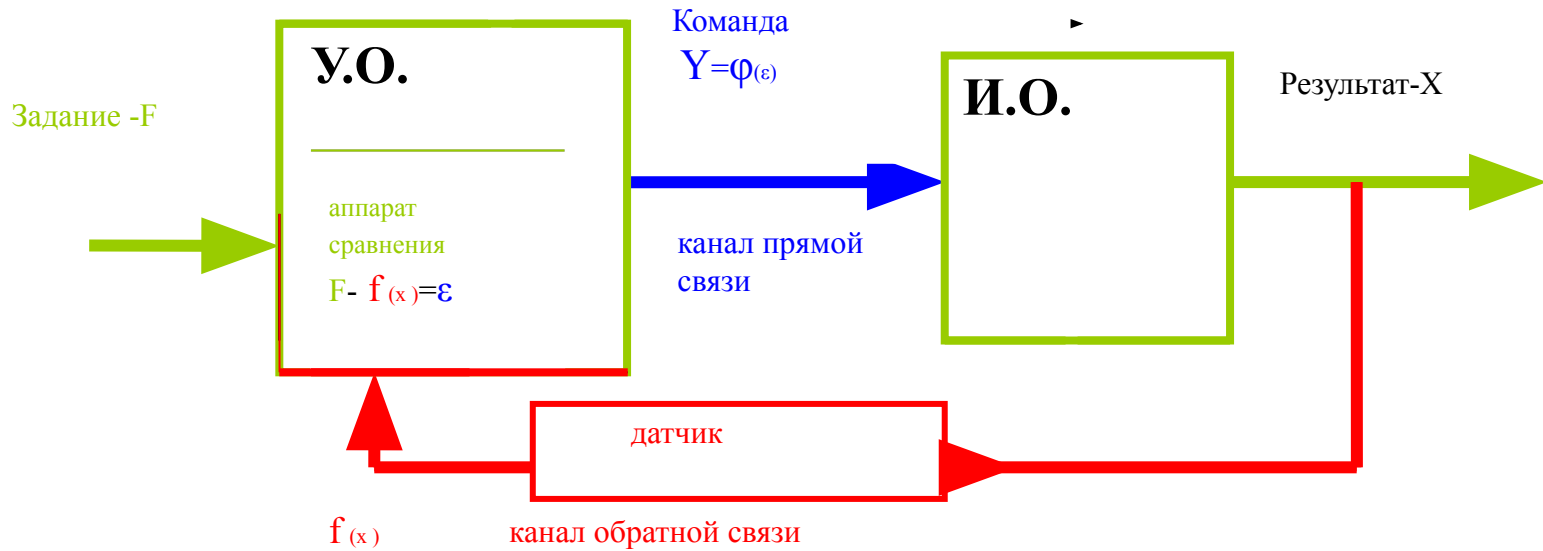


- Рис. 2. Система **регулирования по возмущению** – в управляющий орган системы (УО) поступает информация о воздействии внешних факторов на систему (X) через анализатор.

- Примером **регуляции по возмещению** - система терморегуляции организма, основанная на сигналах кожных рецепторов реагирующих на изменения температуры окружающего воздуха (датчик- терморецептор; X – температура пламени свечи, расположенной около руки; исполнительный орган (ИО) – рука ; управляющий орган (УО) – гипоталамус.

- **Другим распространенным видом регулирования – является *регулирование по отклонению*.**
- **В случае регулирования по отклонению - управляющий орган вырабатывает команды, вызывающие изменения в системе, которые компенсируют последствия отклонений для заданного режима функционирования системы. Рис. 3.**

Рис.3 Схема системы авторегулирования по отклонению.



- Например: Авторегуляция температуры внутренних органов у высших животных. Система регулирования по отклонению – в управляющий орган системы (УО – головной мозг) поступает информация о реакции системы на воздействие (контролируемый параметр – температура органа). Датчик (основным регулирующим элементом служит кровь) передает по каналу обратной связи (кровеносные сосуды) сведения о режиме функционирования системы в аппарат сравнения (гипоталамус – этот орган расположен в нижней части мозга рядом с гипофизом и местом разветвления главной артерии, несущей кровь от сердца к мозгу), в котором они сравниваются с заданными параметрами, в случае отклонения от задания (рассогласование - ε) управляющий орган вырабатывает команды – $Y = \varphi(x)$, идущие по каналам прямой связи, устраняющие данное отклонение.

- **Обратные связи – необходимое условие процессов саморегуляции. Обратная связь передает информацию о результате функционирования системы в управляющий орган.**
- **Различают положительные и отрицательные обратные связи.**

- Положительные обратные связи приводят к выработке команд, ведущих к увеличению отклонения системы от первоначального состояния.

- **Например:**

- всасывание желудком продуктов в результате переваривания белков приводит к увеличению сокоотделения (“аппетит приходит во время еды”); некоторые патологии развиваются с участием положительных обратных связей - ослабление сердечной деятельности может приводить к закупорки кровеносных сосудов, что в свою очередь вызывает еще большее ослабление сердечной деятельности.

3. ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ И ИЗОТЕРМИЯ У ЧЕЛОВЕКА.

- К наиболее совершенным гомеостатическим механизмам в организме животных и человека относятся процессы **терморегуляции.**

- Поддержание постоянства температуры тела обеспечивается работой **авторегуляторного механизма**. В организме существует замкнутый контур регулирования, этот контур представляет собой систему с отрицательной обратной связью

- Основным регулируемым параметром служит температура внутренних частей, более строго – температура соответствующих нервных клеток гипоталамуса. Здесь расположена чувствительная часть управляющего органа, представляющая собой два центра, которые контролируют постоянство температуры каждого органа и всего организма в целом. Один центр реагирует на повышение температуры крови, циркулирующей вокруг его нервных клеток, другой – на понижение температуры. Объектом регулирования в данной системе можно считать внутренние части тела.

- На внешнюю поверхность тела действуют факторы возмущения в виде перегрева или переохлаждения. Терморецепторы кожи воспринимают эти возмущения и через соответствующие нервные пути приводят в действие регуляторные механизмы.

Отрицательные обратные связи вызывают команды, стремящиеся уменьшить отклонения в системе.

- Например: при перегреве организма усиливается потоотделение, учащается дыхание, что приводит к увеличению теплоотдачи в окружающую среду и к понижению температуры организма.

- Температура тела человека и высших животных поддерживается на относительно постоянном уровне, несмотря на колебания температуры внешней среды. На стабилизацию температуры расходуется значительная часть энергии – до 83-84%.
- Это постоянство носит название – **изотермия.**

- Изотермия отсутствует у холоднокровных животных. У новорожденных способность поддержания постоянной температуры снижена, а у недоношенных – еще в большей степени. Изменение температуры человека служит показателем сбоев в механизмах теплового баланса. Повышение температуры даже на градус – это уже явный признак патологии. :

- До появления тепловидения в медицинской практике использовали в основном четыре способа измерения температуры в тех местах, которые сравнительно защищены от воздействия внешней среды. Измерения производились, как правило, контактными термометрами либо в подмышечной впадине, либо под языком, либо в наружном слуховом проходе, либо в прямой кишке.

- Существуют суточные и сезонные колебания внутренней температуры человека. Они составляют не более $0,1-0.6^{\circ}\text{C}$ (наименьшая – ночью летом, наибольшая – во второй половине дня зимой). Гормональная активность щитовидной железы, коры надпочечников повышают температуру.

- У женщин в период овуляции температура часто повышается на 0,6-0,8°C
- Кроме того известно, что интегральная температура левой стороны половины тела человека у людей в 54% случаев выше, чем правой. Возможно, это связано с асимметричным расположением сердца.

- Наибольшее количество тепла в покое дает печень, около 50% всего тепла, вырабатываемого в организме, мышцы – 20% и ЦНС – 20%.

- При средней физической нагрузке это соотношение меняется, на долю мышц уже приходится 75%, а на печень лишь 10%.

- Потеря тепла органами и тканями зависит от их местоположения. Расположенные на поверхности отдают больше тепла и охлаждаются сильнее. На участках открытой поверхности тела человека разница в температуре может достигать 7°C .
Наименьшая температура регистрируется в ногах – в области стопы (27°C), а сравнительно высокая – в глазной впадине ($36,4^{\circ}\text{C}$) и на шее, в области сонной артерии (34°C). Так, печень – самая теплая ($37,8-38^{\circ}\text{C}$), кожа ($29,5-33,9^{\circ}\text{C}$).

- Поэтому справедливо говорить, что изотермия присуща главным образом внутренним органам.



4. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ОРГАНИЗМА. СПОСОБЫ ТЕПЛООБМЕНА.

- **Постоянство температуры может сохраняться лишь при условии равенства теплообразования и теплоотдачи всего организма.**

Теплообмен

- **Теплообмен** - самопроизвольный необратимый процесс переноса теплоты, обусловленный градиентом температуры. На поверхности тела теплообмен осуществляется четырьмя основными способами:

Теплопроводность

- **Теплопроводность** - это перенос теплоты от более нагретого тела к холодному. При этом перенос энергии осуществляется в результате передачи энергии при соударениях от быстро движущихся атомов и молекул (в более нагретом состоянии) медленно движущимся атомам и молекулам холодного тела.

теплопроводность – процесс
передачи энергии
при столкновениях
на микроскопическом уровне,
но без заметного движения
вещества

$$Q_T = kSt \frac{T_H - T_X}{l}$$

- где Q_T - количество теплоты; k -коэффициент пропорциональности, называется коэффициентом теплопроводности, характеризующим материал, через который происходит перенос тепла;
- S - площадь соприкосновения тела со средой;
- t - время теплообмена;
- $T_H - T_X$ - разность температур между нагретым и холодным телом;
- l - толщина слоя, через который происходит перенос тепла.

Конвекция

- **Конвекция** - это процесс, благодаря которому тепло переносится за счёт перемещения большого числа молекул из одного места в другое.

- Различие между явлениями теплопроводности и конвекции в том, что при **теплопроводности** молекулы перемещаются на очень малое расстояние (короче длины свободного пробега) и затем сталкиваются, а при **конвекции** молекулы перемещаются на значительные расстояния

Различают естественную и вынужденную конвекцию

- При естественной конвекции перемещение может быть вызвано имеющейся разностью температур в разных её частях.
- При вынужденной конвекции имеется внешняя сила, приводящая среду в движение

- Перенос тепла при конвекции

$$Q_c = k_1 St \frac{T_H - T_X}{l}$$

k_1 - коэффициент пропорциональности при конвекции, он не является постоянной величиной, а зависит от конкретных условий, в которых находится организм (от особенности действия внешней силы).

Излучение.

- **Излучение.** Перенос тепла излучением осуществляется путём испускания инфракрасных лучей.

Для абсолютно чёрного тела потеря тепла на излучение
определяется по формуле

$$Q_R = \sigma \times S \times t \times (T_i^4 - T_{\tilde{o}}^4)$$

$\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$ - постоянная
Стефана-Больцмана.

Испарение

- **Испарение** -переход тепла из жидкого состояния в газообразное. Тепло, отдаваемое организмом посредством испарения, вычисляется по формуле :

$$Q_L = L \cdot m,$$

где L - удельная теплота испарения (для воды $L=2,26 \cdot 10^6$ Дж/Кг)
 m - масса жидкости, испаряющейся с поверхности.

Испарение является наиболее эффективным видом теплообмена организма при высокой температуре и низкой влажности внешней среды.

- При повышении температуры окружающей среды испарение увеличивается. Все остальные виды теплообмена функционируют лишь при температуре внешней среды более низкой по сравнению с температурой кожи человека. При температуре внешней среды более высокой, чем температура кожи человека, они способствуют дополнительному нагреву организма.

Это утверждение можно представить

уравнением теплового баланса организма человека

$$M - Q_L \pm Q_T \pm Q_R \pm Q_C = 0$$

- где M - метаболизм или теплопродукция, т.е. $\sum Q_i$;
- (+) - при температуре окружающей среды выше температуры тела;
- (-) - при температуре окружающей среды ниже температуры тела.

Терморегуляцию, в целом, принято делить на физическую и химическую

- Химическая терморегуляция осуществляется путем усиления или ослабления интенсивности обмена веществ.
- Физическая терморегуляция осуществляется путем изменения интенсивности отдачи тепла телом.

- Немаловажная роль в терморегуляции отводится поведенческим реакциям человека и животного, например, переход в тень или на солнце, сознательные разогревающие движения, прием пищи соответствующей температуры, выбор одежды.

- Все пути терморегуляции можно разделить
- на метаболический,
- вазомоторный (сосудистый)
- и потоотделительный

- Метаболический путь - активация симпатической и парасимпатической нервной системы. Это приводит к скорости изменения обмена веществ, а следовательно и к уровню теплопродукции.

- Вазомоторный механизм - это усиление или уменьшение теплоотдачи за счёт циркуляции крови по кровеносным сосудам.

- Потоотделительный механизм - это секреторный процесс. Этот механизм работает хорошо в условиях низкой влажности и плохо в условиях повышенной.