

Биофизика состоит из 4-х разделов:

1. **Молекулярная**- изучает физическую структуру и свойства биологически важных органических молекул, их функции связаны с переносом энергии внутри организма, а также перемещение электрических зарядов и магнитных полей. Основными методами являются: γ - резонансная, спектроскопия, электрический и ядерный магнитный резонанс, масспектроскопия.
2. **Биофизика клетки**- изучает физические и физико-химические свойства клеточных и субклеточных структур. Закономерности: деление клеток. Особенности механизма обмена веществ и процессов внутри специальных клеток. Особое значение в изучении клеток играет биофизика клеточных мембран. Методами изучения клеток является электронная и оптическая микроскопия, ультразвуковая и рентгеновская томография.
3. **Биофизика органов чувств**- изучает физические и физико-химические свойства восприятия и обработки внешних информационных потоков через слуховые, зрительные и осязательные рецепторы.
4. **Биофизика сложных систем**- изучает проблемы межклеточных и взаимодействующих между организмами процессов. В этом разделе изучается передача информации по биологическому каналу, эволюция сложных органических систем. Основными методами изучения данного раздела является физическое и математическое моделирование.

Основы термодинамики процессов жизнедеятельности.

Существование любого живого организма связано с непрерывным обменом вещественным, энергетическим и информационным с окружающей средой. Энергия, приходящая в систему расходуется на синтез биоэнергетических соединений на поддержание химических, асимметрических и электрических потенциалов, а так же их градиентов. В процессе жизнедеятельности происходит непрерывное превращение одних видов энергии в другие. Необходимо использовать термодинамику, как науку изучающую наиболее общие закономерности превращений различных видов энергии. **Термодинамической системой** называется часть пространства с материальным содержанием, ограниченная некоторой оболочкой. Состояние системы характеризуется параметрами.

Экстенсивные параметры зависят от общего содержания вещества (масса или объем системы).

Интенсивные параметры не зависят от количества вещества в системе и стремятся к выравниванию (температура, давление).

Возможно 3 вида термодинамических систем: изолированные, замкнутые и открытые.

Изолированные не могут обмениваться с окружающей средой ни энергией, ни веществом. Со временем такая система приходит в равновесное состояние, при котором все параметры одного значения. Такому состоянию соответствует наименьшее значение термодинамических потенциалов и максимальное значение энтропии.

Замкнутая система может обмениваться с окружающей средой веществом и информацией.

В открытой системе происходит обмен с окружающей средой веществом, энергией и информацией. Она может находиться в стационарном состоянии. **Стационарным называется** состояние при котором параметры системы могут принимать в разных точках системы разные значения, которые не изменяются по времени. Изменение любого параметра, приводят к изменению состояния системы.

Переход из одного состояния в другое- процесс. **Процесс называется обратимым**, если система возвращается в исходное состояние через одни и те же состояния, что и в прямом направлении. **Необходимым называется процесс**, протекающий только в одном направлении. Характеристикой состояния системы являются термодинамические потенциалы. Внутренняя энергия равна сумме всех видов энергии частиц, из которых состоит система, за исключением кинетической и потенциальной энергии системы, как целого. Внутренняя энергия- функция состояния и определяется параметрами системы.

Рассмотрим взаимодействия системы с окружающей средой. Обмен энергией может происходить за счет количества теплоты и совершения системной работы.

Количество теплоты- теплообмен. $dU = \delta Q + \delta A$

Процесс изменения энергии зависит от вида процессов, от способа совершения работы или передачи теплоты. Существуют следующие способы совершения работы:

1. Механическая работа при перемещении тел. $A = \bar{F}de$
2. Механическая работа при расширении газа. $A = p dV$
3. Работа по переносу электрического заряда. $A = U dq$
4. Работа при химических реакциях. $A = \mu dV$

В обобщенном виде: $A = x dx$

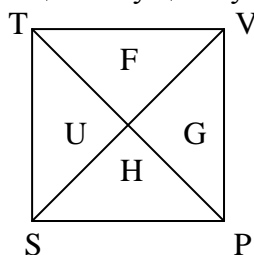
Если на систему действует несколько сил, то по 1-му закону термодинамики:

$$\delta Q = dU + \sum_{i=1}^N x_i dx_i$$

Работа связана с превращением различным видом энергии. Подразделяется несколько видов энергии по способности их превращения в другие виды:

1. А- максимальная эффективная энергия. К ней относятся: гравитационная, световая, ядерная.
2. В- химическая энергия может превращаться в тепловую и электрическую энергию.
3. С- тепловая энергия. Деграация высших форм энергии в низшие, основное эволюционное свойство изолированных систем.

Тепловая энергия- это особый вид энергии низшего качества, который не может переходить без потери в другие виды энергии, т.к. тепловая энергия связана с хаотическим движением молекул. Живые организмы не являются источником новой энергии. Окисление поступающих в живой организм веществ приводит к высвобождению в нем эквивалентного хождения энергии, связанных с химической формой или каким-то другим видом энергии. Важной характеристикой системы является термодинамический потенциал. Существует 4 потенциала:



Функции состояния, изменение которых дает определить выполнение полезной работы и количество теплоты поступления в систему при теплообмене, по знаку и величине потенциала, можно следить по направлению процесса, при достижении равновесия, термодинамический потенциал стремится к наименьшему значению.

$$dU = TdS - pdV, S = const$$

$$\delta A = \delta Q - dU = TdS - dU = -d(U - TS)$$

$$1) -dU = A$$

$$2) T = const$$

$$\boxed{\delta U = dU}$$

$$\boxed{F = U - TS}$$

$$H = U + pV$$

$$3) dH = dU + pdV + Vdp, p = const$$

$$\boxed{dH = \delta Q}$$

Изменение энтальпии учитывает тепловой эффект химической реакции.

4) Термодинамический потенциал Гиббса.

$$G = U + pV - TS$$

$$p = const, T = const$$

$$\boxed{dG = \delta A_{\text{немеханич.}}}$$

Т.о. изменение потенциалов характеризует работу всех видов сил производной системы и количество теплоты которой обменивается система с окружающей средой. Различают 4 способа теплообмена:

1. Теплопроводность связанная с переносом теплоты через ткани организма, связанные с законом Фурье:

$$\boxed{Q_T = -\kappa \frac{dT}{dx} dS dt}$$

2. Конвекция, количество теплоты, которое переносится потоками разной плотности и разной температуры. Q_C .

3. Излучение, возникает на границе системы в виде электромагнитных волн, закон Стефана-Больцмана:

$$\boxed{Q_R = \sigma(T_i^4 - T_c^4)}$$

T_i - собственная температура

T_c - температура среды

4. Испарение, связано с превращением вещества из жидкого состояния в газообразное.

$$\boxed{Q_U = rm}$$

С учетом всех видов теплообмена можно записать уравнение теплового баланса:

$$\boxed{M \pm Q_T \pm Q_C \pm Q_R - Q_U = 0}$$

Процессы теплообмена могут как увеличивать, так и уменьшать теплоту энергии, за исключением энергии испарения, которая всегда уменьшает количество теплоты внутри системы. Поскольку организм является термостатической системой, то для поддержания внутри организма постоянной температуры не зависит от внешних условий, организм имеет многочисленные системы регуляции.

Химическая регуляция происходит за счет изменения окислительных процессов внутри организма. Однако, изменение интенсивности обмена веществ приводит к серьезным нарушениям жизнедеятельности организма.

Физическая терморегуляция позволяет изменять интенсивность теплопроводности, конвекции и испарения. Терморегуляция внутренних органов, в которых в основном происходит выделение теплоты, совершенствуется при помощи тока крови, которая обладает высокой теплопроводностью. Интенсивность процесса теплообмена регулируется за счет усиления или ослабления оттока крови и связано с расширением или сужением кровеносных сосудов и является ответом на изменение внешних условий. Если температура среды выше температуры тела, то дополнительная терморегуляция достигается за счет усиления испарения с поверхности тела. Кроме естественной терморегуляции большое значение имеет искусственная терморегуляция, связанная с изолированием организма от неблагоприятных условий окружающей среды. Тепловой баланс можно проверить экспериментально, определить энергию выделения организмом и энергию питательных веществ поступающих в организм. Энергия высвобождения из организма эквивалента поступающего внутрь. Т.о. все процессы жизнедеятельности соответствуют 1-му началу термодинамики.

Второе начало термодинамики в применении к биосистемам:

Второе начало термодинамики указывает на качественное различие форм энергии. Тепловая энергия образуется в организме, является определенной формой связанной энергии, т.е. в процессе жизнедеятельности она не может не может быть полностью превращена в другие виды. Для описания связанной энергии используется понятие

энтропии. $F = U - TS$

Энтропия является функцией состояния и определяется с точностью до произвольной постоянной. Для изолированных систем энтропия не убывает, т.е. при протекании внутри системы необратимых процессов, энтропия возрастает, а при обратимом не меняется. Говорят о запасе энергии в системе, наиболее важно знать какую работу она может совершить над внешними телами, либо внутри самой системы. Для этого используется свободная энергия или энергия Гиббса. Для биосистем, процессы протекают при постоянной температуре и мало изменяющейся плотности и объеме. Т.о. для нормальных условий, свободно превращается часть внутренней энергии системы одинаковое в системе как свободной энергии, так и энергии Гиббса. Т.о. для оценки возможностей работы живого организма необходимо учитывать изменения свободной энергии или потенциал Гиббса. Существуют методы расчета изменения потенциала Гиббса для химических реакций.

$$\Delta G = \Delta G_0 - RT \ln \frac{\sum e_i' v_i'}{\sum e_i v_i}$$

Однако для биологических систем закон возрастания энтропии не наблюдается, что послужило причиной сомнения возможности применения 2-го закона термодинамики для животных систем. Согласно формулировке этого закона, возрождения энтропии определяет направление большинства естественных процессов в природе. Однако, закон возрождения энтропии справедлив только в изолированной системе и не может быть применен к живому организму на основании того, что это открытая система. Для изолированной системы в состоянии равновесия энтропия максимальна, а все термодинамические потенциалы, в том и собственная энергия и энергия Гиббса

оказывается минимальным. В открытой же системе в стационарном состоянии изменение энтропии может быть отрицательно, а значение F или G могут вообще не изменяться.

Для изолированных систем $\delta Q = 0$: $dS \geq 0, G = const, F = const$

Для открытых систем: $dS < 0, G = const$

2-е начало термодинамики для открытых систем впервые было сформулировано Пригожиным.

Изменение энтропии открытых систем можно представить в виде 2-х частей.

$$dS = d_e S + d_i S$$

Первое слагаемое определяет изменение энтропии за счет внешних процессов. Второе слагаемое определяет изменение энтропии за счет процессов, протекающих внутри системы. $d_i S \geq 0, d_e S < 0, d_e S > 0$

Это связано с необратимостью процессов расщепления питательных веществ, выравниванием градиентов, что всегда сопровождается увеличением энтропии. Аналогично энтропии можно разделить потенциал Гиббса.

$$dG = d_e G + d_i G$$

Внутренние процессы сопровождаются расходом и убыванием потенциала Гиббса, который за счет обмена с окружающей средой может как увеличиваться, так и уменьшаться. В общем случае знак и величина изменения энтропии в разные промежутки времени изменяются, поэтому удобно рассматривать скорость изменения энтропии в открытой системе.

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d_e S}{dt} + \frac{d_i S}{dt}$$

Для поддержания жизнедеятельности необходимо непрерывное поступление в организм свободной энергии из окружающей среды для компенсации убыли свободной энергии за счет внутренних процессов. Уменьшение энтропии в животной системе в ходе потребления пищевых продуктов и солнечной энергии одновременно приводит к увеличению свободной энергии системы. Т.е. приток отрицательной энергии не связан с упорядочением живых структур. Деграция питательных веществ приводит к выделению свободной энергии необходимой организму. Поток отрицательной энтропии необходим для компенсации нарастания энтропии и убыли свободной энергии, которая происходит внутри клетки в результате самопроизвольных процессов жизнедеятельности. Т.о. открытая система представляет собой процесс круговорота и превращения свободной энергии. Если внутри открытой системы достигнуто равновесие в отношении температуры, то и процессы обмена с окружающей средой протекают равновесно. Устойчивым состоянием открытой системы является стационарное состояние. Термодинамические условия возникновения стационарного состояния является равенство между изменением энтропии внутри организма и потоком энтропии в окружающую среду.

Т.е. для открытой системы условием стационарного состояния является: $\frac{dS}{dt} = 0$

$$\frac{d_e S}{dt} = \frac{dS}{dt}$$

Постоянство энтропии не означает термодинамическое равновесие с окружающей средой. Равновесие организма с окружающей средой означает биологическую смерть. Для открытой системы постоянство энтропии устанавливает стационарное состояние системы и характеризует не отсутствие обратимых процессов, как в случае равновесия в изолированной среде, а взаимодействие с окружающей средой в наиболее оптимальной

форме. Т.о. 2-е начало термодинамики для открытых систем помогает указать на целесообразность стационарного состояния системы. Впервые этот принцип был сформулирован Пригожиным в виде теоремы:

В стационарном состоянии производство энтропии внутри системы имеет постоянную и наименьшую из всех возможных скоростей.

$$\frac{d_i S}{dt} \rightarrow \min$$

Теорема указывает на то, что стационарное состояние обеспечивает наименьшие потери свободной энергии. В таком состоянии организм функционирует наиболее эффективно.

Энтропия и информация.

2-е начало термодинамики описывает некоторые процессы в биологической системе в основе которых лежат статистические закономерности. Однако, наряду со статистическими процессами в организме существуют совокупность детерминистических механических систем, для которых справедливы иные законы. Статистические закономерности определяют статистическое состояние системы, т.е. энтропия является мерой неупорядоченности системы.

$$S = k \ln \Gamma$$

В стационарном состоянии вероятность нахождения в нем системы равна 1. Использовать понятие информации для описания состояния системы возможно, опираясь на связь информации и энтропии, установил Шеннон. На всех уровнях биологической системы существует, возникает и накапливается информация, реализация одного из нескольких возможных состояний воспринимается как некое количество информации.

$$I = -\log_2 p$$

Т.о. сравнивая выражения для количества информации и энтропии, Шеннон установил связь.

$$S = 2,3 \cdot 10^{-23} I$$

Энтропия и информация связаны между собой, однако такая связь справедлива лишь для информации, которая не может быть заменена. Т.о. система из любого микросостояния быстро переходит в другое микросостояние, не сохраняя информацию. Для n событий, вероятность которых известна, количество информации заключенной в системе можно

определить по формуле:

$$I = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i$$

В биологической системе с увеличением сложности возникает возможность запоминания информации о состоянии системы. Процесс запоминания свободных к переходным системам в одно из 2-х состояний, который сопровождается потерей энергии и для выхода из которого требуется система дополнительной энергии. Т.о. увеличение информации в сложных биологических системах связанных не с увеличением элементов системы, а за счет установления связи между элементами системы. С увеличением сложности системы, измерительная ценность информации, т.е. невозможность существования систем без информации именно в этом состоянии. Т.о. информационная система организма должна включать статистические и динамические информационные подсистемы. Статистическая информация связана с физической энтропией и является мерой не запоминающим системным микросостоянием. Макро информация является мерой тех состояний, о пребывании в которых система должна помнить.

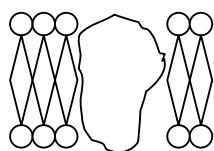
Структура и свойства биологических мембран.

В основе любого организма лежит живая клетка, только после образования клетки возникла жизнь. Каждая клетка окружена наружной оболочкой- мембраной, которая обладает свойствами полупроницаемости. Любая клетка является открытой системой, которая обменивается с окружающей средой или другими клетками энергией, массой и информацией. Внешняя мембрана клетки называется плазмой- леммой. На ряду с внешней мембраной, клетка содержит большое число внутренних мембран, которые образуют компартменты позволяющие разделять пространство внутри клетки так, что возникает возможность сопряженных процессов. Общая масса внутри мембраны составляет 2/3 от всей сухой массы клетки. Мембраны состоят из липидов, белков и углеводов.

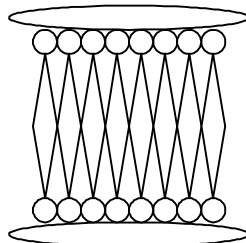
Органические вещества, растворимые в воде, заполняют пространство внутри клетки или между клетками. Структурной основой биологических мембран является биомолекулярный слой, образованный липидами. Его образование обусловлено особенностями взаимодействия с водой мембранных липидов. Основу мембран составляют фосфолипиды, в молекулах которых можно выделить 3 составные части:

1. Центральная- головная, содержит кислотные остатки солей фосфорной кислоты;
2. Тело молекулы- образовано молекулой глицерина;
3. Хвостовая часть- состоит из остатков жирных кислот.

Хвост молекулы представляет более длинную часть липида и содержит до 24 атомов углерода. Чем длиннее хвост молекулы, тем меньше ее жесткость и тем больше проницаемость мембран. Головная часть фосфолипида либо нейтральна, либо заряжена положительно, образование ее молекул фосфидов, гидрофильные, т.е. взаимодействуют с молекулами воды. Остатки жирных кислот, образующие хвост молекул являются гидрофобными, т.е. не могут образовывать связи с молекулами воды. Такой характер взаимодействия различных частей молекул липидов приводит к возникновению бимолекулярного слоя, т.е. головные части молекулы поворачиваются в сторону воды, а хвостовые образования, билипидный слой. Из одного миллиграмма липида образовывается 1 квадратный метр мембраны, толщиной 10 нм.



мозаика ↑↑



бутербродная ↑↑

Различные периферические и собственные интегральные белки. Первые находятся вблизи поверхности фосфолипидов и взаимодействуют с головной частью молекулы за счет электростатических сил. Вторые белки взаимодействуют своими гидрофобными частями с цепочками жирных кислот с хвостовой части молекулы и в этом случае встраивается в билипидный слой. Наиболее характерной для интеграции белков является спиральная или трубчатая форма, функции собственных белков разнообразны, часть их механически укрепляет билипидный слой, обеспечивая механическую прочность мембран. Кроме того, другие белки обладают специфическими рецепторными свойствами или обеспечивают транспорт ионов через мембрану. Билипидный слой составляет мембрану, представляет собой жидкие кристаллы, которые характеризуются как упорядоченностью, так и тягучестью. Биомембраны обладают высокой прочностью на разрыв, упругостью, большой поверхностью натяжения. Биомембраны представляют собой диэлектрическую способность к поляризации, т.е. к возникновению на поверхности связанных

электрических зарядов. Физические и химические свойства мембран обеспечивают выполнение следующих функций:

1. Механическая функция заключается в поддержании морфологической целостности клетки, а так же клеточных структур.
2. Барьерная функция заключается в создании биологическими мембранами препятствия для свободного проникновения вещества в клетку. Селективность, т.е. пропускная способность позволяет регулировать содержание внутри клетки тех или иных ионов. Следствием барьерной функции является возможность протекания сопряжения реакций внутри клетки.
3. Матричная функция заключается в организации взаимодействия вещества внутри клетки, т.е. с помощью мембран устанавливается очередность или последовательность химической реакции внутри клетки.
4. Энергетическая функция, которая заключается в осуществлении синтеза адезинтрифосфорной кислоты АТФ на внутренних мембранах митохондрий или осуществления фотосинтеза на мембранах хлоропластов.
5. На мембранах возникает и распространяется биопотенциалы, т.е. на мембранах происходит разделение электрических зарядов.
6. Рецепторная функция мембран, позволяет за счет спецификации белков распознавать механические, зрительные, химические и другие воздействия.

Много функциональная природа мембран не позволяет создать однозначную модель создания мембраны. В 1931 г. Девисон предложил бутербродную модель мембран, согласно которой среднюю часть мембран образует билипидный слой, а внешний представляют молекулы белка. В 1972 г. была предложена мозаичная модель мембран, согласно которой белки включают в состав в виде глобул. Каждая из этих моделей частично правильно отображала модель мембран, например, бутербродная модель успешно объясняла строение и свойства нервных волокон.

В зависимости от функций мембран, соотношение между белками и жирами колеблется в широких пределах. В настоящее время используется синтетическая модель, учитывая обе основные модели. Вместе с моделями были получены искусственные мембраны.

Биофизические механизмы транспорта вещества через биомембраны.

Принято различать пассивный и активный транспорт. Пассивным называют транс мембранный перенос вещества, происходящий в направлении действия концентрации, соматических или электрических градиентов.

$$\begin{aligned} j_m &= -D \text{grad} C \\ j_m &= -A \text{grad} \varphi \end{aligned}$$

Активным транспортом называют перенос вещества через мембрану в направлении противоположном grad. Движущей силой активного транспорта является электрохимический потенциал, который изменяется под действием биохимических реакций, создающих дополнительную свободную энергию. Рассмотрим механизм пассивного транспорта: масса вещества, переносимого через мембрану в результате совместного концентрационного или электрического grad называется конвекционным потоком. С его помощью происходит обмен веществ между тканями организма и кровеносной системой.

$$\frac{dm}{dt} = -D \text{grad} C - A \text{grad} \varphi$$

Коэффициенты пропорциональности зависят от соотношения массы и зарядов ионов. В этом случае суммарный массоперенос может быть как больше, так и меньше конвекционного. Следует различать механизмы диффузии для водорастворимых и

жирорастворимых веществ. Свободная диффузия через мембраны возможна только для жирорастворимых веществ. Процесс растворения диффузии заключается в последующем внедрении молекул вещества в биполярный слой. Свободное место в биполярном слое, которое может занимать молекула вещества, возникает за счет теплоты движения молекул и носит вероятностный характер. Поэтому процесс диффузии происходит в виде скачков молекул.

Теория диффузии жирорастворимых молекул- теории «клинков». В зависимости от размера молекулы, проникающей через мембрану, меняется скорость диффузии, что связано с необходимостью одновременно освобождения 2-х или нескольких мест в биомолекулярном слое. Для характеристики свойств мембран вводится коэффициент проницаемости, который зависит от коэффициента диффузии, определяя разность энергии молекулы в воде и липиде.

$$p = \frac{D * \beta}{l} \quad \text{- коэффициент проницаемости.}$$

$$\beta = e^{-\Delta \frac{W}{kT}}$$

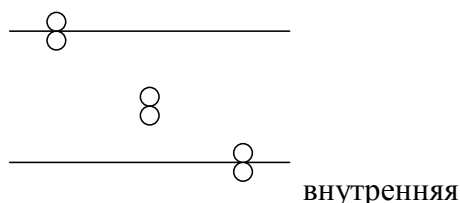
$$\Delta W = W_{\text{вода}} - W_{\text{липид}}$$

Т.к. жирорастворимость вещества имеет высокий коэффициент β , а водорастворимость- низкий, то проницаемость мембран для водорастворимых веществ оказывается тепловым. Свободная диффузия жирорастворимых веществ, происходящая за счет скачков, зависит от разлома молекул. Для свободной диффузии водорастворимых веществ существуют простейшие механизмы диффузии за счет спецификации белковых молекулярных переносчиков.

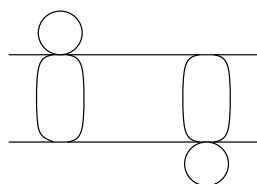
Переносчиками являются белковые молекулы, способные входить в состав мембран. Возможны 3 механизма диффузии с помощью переносчиков:

- ротационный;
- метод сдвигов;
- миграционный.

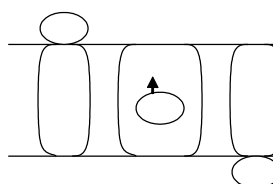
При миграционном механизме переноса, переносчики сдвигаются внутри мембраны, захватывая молекулы вещества на внешней поверхности и оцепляя ее на внутренний. Такой механизм называется малой каруселью.



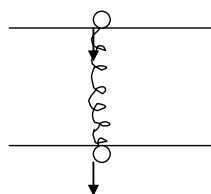
Кроме того, возможна «большая карусель», связанная с выходом переносчика за пределы мембраны. В качестве переносчика гидрофильных молекул могут быть использованы белковые молекулы, пронизывающие мембраны насквозь. Такие переносчики обменивают диффузию за счет механизма ротации или сдвига (поворота).



⇐ ротация (поворот)



Дополнительным способом диффузии гидрофильных молекул связан с образованием мембранных каналов. Мембранный канал имеет вид белковой спирали, пронизывающую мембрану, причем внутренняя часть спирали представляет собой гидрофильную часть белка, за счет таких веществ внутренней части спирали гидрофильная молекула может перемещаться внутри нее за счет градиента концентрации. В этом случае мембранный канал зависит от радиуса спирали. Кроме того, на пронизывающем канале оказывает влияние потенциального электрического поля., который изменяет свойства канала.



← гидрофильный канал

Активный транспорт.

Это трансмембранный перенос в сторону более высокого электрохимического потенциала, он предназначен для выполнения в клетке веществ, концентрация которых превышает концентрацию этих веществ в среде. Активный транспорт используется для вывода из клеток избыточных веществ, даже в том случае, если концентрация их в среде больше, чем в клетке.

Свойства активного транспорта:

1. Перенос вещества против градиентов происходящих за счет свободной энергии, освобождая при окислении вещества в организме.
2. Свободная энергия, обеспечивает активный транспорт, передается биологической мембране в ходе химических процессов, связанных с переносом вещества, т.е. свободная энергия подводится в результате реакции, в которой участвуют сами мембраны.
3. Активный транспорт избирателен, т.е. каждая система активного транспорта обеспечивает перенос только одного вещества в одном направлении.

В некоторых случаях возможен, при котором в обратном направлении происходит пассивный транспорт других веществ, но с использованием тех же самых переносчиков. Т.о. любая система активного транспорта содержит 3 необходимых компонента:

- 1) источник свободной энергии;
- 2) переносчик данного вещества;
- 3) Регуляторный фактор, связывающий выделение энергии с началом переноса.

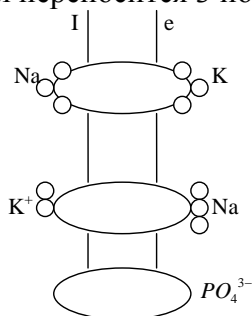
В большинстве систем активного транспорта, в качестве источника энергии используется аденилтрифосфорная кислота (АТФ). За счет гидролиза и присоединения фосфатной группы кислоты к молекуле переносчика выводится дополнительная свободная энергия, достаточная для преодоления градиента. Отдавая молекулярные вещества по другую сторону мембраны, переносчик дефосфолируется, теряет фосфатную группу.

Переносчиками могут быть мелкие белковые молекулы, входящие в состав мембраны и осуществляющие процесс переноса по механизму «большой и малой карусели», либо большие белковые молекулы, пронизывающие мембрану, переносящие молекулу за счет механизма ротации или сдвига.

3-й компонент системы активного транспорта, который обеспечивает согласованность работы переносчика и источника энергии, это особый фермент, ускоряющий гидролиз

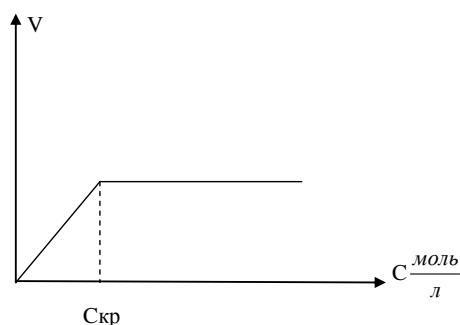
АТФ- это АТ фаза. Для каждого вещества существует специальная АТ- фаза. Каждая из них активирует гидролиз АТФ лишь в присутствии переносимого вещества, т.е. кальциевая АТ- фаза проходит в активном состоянии только при определенном значении концентрации ионов Са в межклеточной среде. Все АТ- фазы специфичны и действуют только в определенном направлении переноса. Например, калий-натриевая АТ- фаза активизирует переносчик Na только со стороны клетки, а переносчик К только со стороны межклеточного вещества. Увеличение концентрации ионов Na в межклеточном пространстве не является сигналом к выключению активного транспорта. Т.о. в клеточной мембране постоянно присутствует и переносчики и транспортные ферменты АТ- фазы. Все системы активного транспорта начинают работать лишь при увеличении вещества, подлежащего транспорту.

Основное назначение активного транспорта заключается в обеспечении постоянного неравновесного полного состава внутри клеточного вещества. Постоянство полного состава является необходимым условием для нормального функционирования клетки. Ионы входя в состав многих сложных молекул, осуществляют регулировку эффективного обмена вещества, контролирующего скорость превращения энергии. Примером активного транспорта является калий- натриевый насос. Концентрация ионов калия внутри клетки намного больше их концентрации в межклеточном пространстве. Распределение ионов Na противоположно, т.е. в межклеточной среде находится больше 50% ионов Na, 40% входит в состав костей, 10% внутри клетки. В состав активного транспорта калий-натриевого насоса входит АТФ как источник энергии и калий- натриевая АТ- фаза, которая является и переносчиком и согласующим элементом активного транспорта. Этот фермент был открыт в 1957 г. и состоит из 2-х полипептидных цепей с молекулярными массами 84 тыс. и 5700. Вводя этот фермент в искусственные Биомембраны, удалось установить, что он обеспечивает процесс расщепления АТФ и поддерживает ионный ток через мембрану. Разрушение фермента приводило к прекращению тока. Молекулы калий- натриевой АТ- фазы пронизывают биомембрану и контактируют одним концом с цитоплазмой внутри клетки, а 2-м с межклеточным веществом. Молекулы этой АТ- фазы усиливают гидролиз АТФ при усилении, нарастании концентрации ионов Na внутри клетки или ионов К снаружи. При этом молекулы фермента присоединяют фосфатную группу, отделившуюся от АТФ и 3 иона Na, находящихся внутри клетки, а так же 2 иона К, расположенных за пределами клетки. После этого, молекулы АТ- фазы испытывают конформационное превращение за счет ротации или сдвига, перемещая ионы К внутрь, теряя при этом энергию, молекула АТ- фазы одновременно освобождается и от фосфатной группы и от соответствующих ионов, испытывая обратное конформационное превращение. За один цикл переносится 3 иона Na и 2 иона К.



В биомембранах существуют и другие системы активного транспорта. При сокращении мышц необходимым является работа кальциевого насоса, который обеспечит стабильно низкий уровень Са в межклеточном пространстве (10^{-6} моль/ л). Схема активного транспорта аналогична любому другому. Работа Са-го насоса позволяет закачивать избыточные ионы Са в так называемые цистерны и способствует расслаблению мышц. Дополнительным фактором необходимым для активизации Са-ой АТ- фазы является наличие ионов Mg в межклеточной среде.

Облегченная диффузия- это один из видов пассивного транспорта, представляет собой транспортировку вещества в том же направлении, что и свободная диффузия, только с большой скоростью. Отличительное свойство облегченной диффузии- эффект насыщения, т.е. при достижении определенной концентрации вещества, вблизи мембраны скорость переноса его через мембрану становится постоянной.



$$dm = -D \frac{vC}{vx} dSdt$$

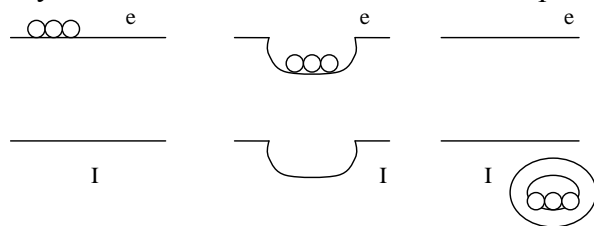
$$\frac{dm}{dtdS} = -D \frac{C - C_0}{d}$$

Облегченная диффузия обеспечивается переносчиками, которые связаны с молекулами, образуя единые комплексы. Свойство насыщения связано с вовлечением в процесс переноса всех молекул переносчика. Для осуществления облегченной диффузии необходимо снижать концентрацию переносимого вещества внутри клетки. Это достигается включением переносимых молекул во внутриклеточные процессы. Например, поступление в клетку за счет облегченной диффузии молекулы глюкозы, тут же превращается в гликоген, следовательно, концентрация молекул глюкозы внутри клетки становится равной 0, следовательно, устанавливается максимальный градиент концентрации, а скорость диффузии будет определяться числом переносчиков, участвующих в диффузии. Облегченная диффузия в отличие от других видов пассивного транспорта требует дополнительной энергии, которая расходуется на создание технического градиента для переносчика. Основное отличие облегченной диффузии от систем активного транспорта- дополнительная свободная энергия не используется для изменения самого переносчика.

Специальные механизмы.

На ряду с активным и пассивным транспортом в ряде случаев в которых существуют особые механизмы поглощения и удаления химических веществ, отмечается от ранее рассмотренных. За счет использования специальных рецепторов входящих в структуру биомембран и взаимодействующими лишь определенными химическими веществами, включается механизм изменения структуры биомембраны. Т.е. происходит локальная перестройка структуры с последующим ее восстановлением. Специальный резистор, обеспечивающий включение механизма, называется паролем. Для проникновения через мембрану внутрь клетки крупных органических молекул характерно образование внутри клетки области, ограниченной вновь образованной мембраной, внутри которой заключена данная молекула. Эта мембрана образовалась от внутриклеточных веществ. Механизм проникновения внутрь клетки связан с образованием вблизи поверхности мембраны везикулы. Процесс поступления вещества внутрь клетки- эндоцитоз, а выведения- экзоцитоз. При эндоцитозе частицы вещества адсорбируются на определенном участке

мембраны, который обладает рецептором, реагирующим на данный вид молекул. В дальнейшем участок мембраны втягивается внутрь клетки, образуя везикулу, внутри которой находятся молекулы. Везикула отрывается от поверхности мембраны и перемещается внутрь клетки, где взаимодействуя с липосомами разрушается. Для адсорбции дополнительной энергии не требуется, однако, при адсорбции везикулы требуется дополнительная свободная энергия, источником которой является АТФ.

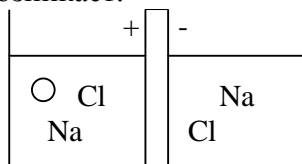


Щелевые межклеточные контакты.

Обмен веществом между клетками чаще всего происходит за счет щелевых контактов. При их образовании белковые молекулы мембран используют конформационное изменение, образуя гексагональные структуры, подобные пчелиным сотам, пронизывающие мембрану насквозь. Аналогичные преобразования происходят во 2-й мембране в месте контакта. В результате возникла сквозная пора, по которой могут переходить гидрофильные молекулы. Процесс образования пор занимает от 5 до 40 мин., после чего мембрана восстанавливается. Образование пор происходит за счет дополнительной свободной энергии при гидролизе АТФ.

Механизм биоэлектричества.

Живые клетки и ткани состоят из электролитов, представляющих собой растворы органических и не органических солей и мембран, которые являются диэлектриками. Проводимость мембран и тканей определяется возникновением ионных каналов, способные пропускать заряженные частицы. Влияние внешних электрических полей на диэлектрические вещества мембран, определяющихся поляризацией диэлектриков и проявляются в виде дисперсии, т.е. зависимости диэлектрической проницаемости от частоты электрического поля. Особое значение имеют низкие частоты, в результате их воздействия диэлектрическая проницаемость некоторых мембран изменяется в 3-10 раз. Кроме электрических свойств, клетки обладают магнитными свойствами, однако, поскольку ткани являются диэлектрическими, то магнитные свойства существенным образом в них не проявляются. Живая клетка является активным генератором электричества. Основная причина возникновения электрического поля- разделение электрических ионов по обе стороны мембраны. Самая простая модель источника электрического тока- концентрационный элемент Нерста. В нем раствор соли разделен мембраной, обладающей различной проводимостью для ионов разных сортов. В результате перехода дополнительного числа ионов через мембрану на ней образуется 2-й электрический слой. Разбавленный раствор принимает знак того иона, который проникает сквозь мембрану. При одинаковой проницаемости анионов и катионов электрическое поле не возникает.



ЭДС концентрированного элемента Нерста вычисляется по формуле:

$$\mathcal{E}DC = \frac{RT}{zF} \ln \frac{C_{k1}p_1 + C_{A2}p_2}{C_{k2}p_1 + C_{A1}p_2}$$

Однозарядные ионы оказывают наибольшее влияние действий на электрические свойства клетки. В цитоплазме клетки преобладают каменные соли высокомолекулярной кислоты, в межклеточном пространстве преобладают растворы солей Na, неорганических кислот. Таким образом соли K и Na играют важную роль в создании электрических полей на поверхности мембраны. Значение мембраны потенциально для десятикратной разности потенциальных ионов, составляющих порядка 60 мВт и зависит от вида мембран. Для возникновения электрического поля необходимо выполнение 2-х условий:

1. Существование концентрации градиентов по обе стороны мембраны.
2. Наличие селективной проницаемости мембран, для различных ионов.

В состав клетки входят определенные ионы, поэтому потенциал можно рассчитать на основании уравнения Гольдмана, которое является следствием уравнения Нернста:

$$\mathcal{E}DC = \frac{RT}{zF} \ln \frac{p_k [k^+]^i + p_{Na} [Na^+]^i + p_A - [A^-]^e}{p_k [k^+]^e + p_{Na} [Na^+]^e + p_A - [A^-]^e}$$

Проницаемость мембраны зависит от типа мембраны: e - межклеточная среда;
 i - цитоплазма.

Это уравнение позволяет вычислить разность потенциалов по обе стороны мембран, как в состоянии покоя, так и в состоянии возбуждения. Причиной возникновения разных потенциалов по обе стороны мембраны клетки, находящейся в состоянии покоя, является разная скорость диффузии ионов K и анионов органических кислот через мембрану. Проницаемость мембран для ионов K больше проницаемости ионов Na в 400 раз.

$$\frac{p_k}{p_{Na}} = 400, p_k \gg p_{Na}$$

Концентрация ионов K в условиях покоя клетки составляет $C_{k^+} = 440 \frac{\text{м * моль}}{\text{литр}}$. За

пределами клетки $C_{k^+e} = 10 \frac{\text{м * моль}}{\text{литр}}$ Для ионов Na внутри клетки $C_{Na^+e} = 49 \frac{\text{м * моль}}{\text{литр}}$,

вне клетки $[Na^+]_e = 460 \frac{\text{м * моль}}{\text{литр}}$

В уравнении Гольдмана основными ионами, создающими амплитуду потенциального покоя являются ионы K, поэтому амплитуда потенциала покоя.

$$\Pi.П. = \frac{RT}{ze\Pi} \ln \frac{[k^+]_e}{[k^+]_i}$$

Межклеточная среда в этом случае преобладает знак свободного выходного иона K^+ , а цитоплазма принимает знак минус. Знак потенциала покоя устраняется за счет 2-х механизмов:

1. Малой проницаемостью мембран. Для анионов, за счет чего возникает избыток электронов в нутрии клетки.
2. В следствии того, что концентрация ионов K в межклеточной среде меньше, чем внутри клетки, но именно не клеточная среда преобразует плюс.

Существование ионных градиентов по обе стороны мембраны требуют дополнительную энергию, т.к. необходимый grad концентрации ионов K и Na осуществляется за счет работы активного транспорта. С другой стороны, возникающий потенциал покоя своей

полярьностью создает условия для снижения расхода своей энергии необходимой для поддержания grad концентрации.

Потенциал действия.

При действии на живые клетки внешними раздражителями, изменяются условия генерации ЭДС. При возбуждении нервной и мышечной ткани процесс отвечает реакцией клетки на раздражение связанное с проницаемостью мембран. Прежде всего это касается для изменения катионов. Изменение проницаемости продолжается короткое время, несколько микросекунд. В этот момент отношение проницаемости ионов Na к ионам K

увеличивается во много раз:

$$\frac{P_{Na^+}}{P_{K^+}} = 40$$

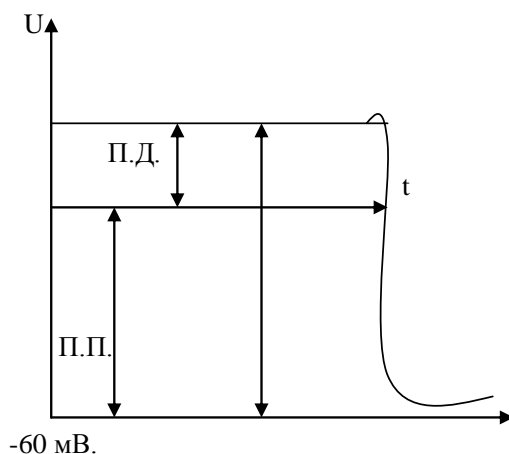
На время возбуждения сопротивление мембраны резко падает, что приводит к изменению ионного состава клетки. Т.к. проницаемость ионов Na становится больше проницаемости анионов кислот и органических и не органических.

$$P_{Na^+} \gg P_{A^-}$$

$$\text{П.Д.} = \frac{RT}{zeF} \ln \frac{[Na^+]_e}{[Na^+]_i}$$

За счет поступления дополнительных ионов Na в клетку приводит к изменению знака цитоплазмы. Процесс изменения знака- инверсия. Значение потенциала действия достигает +55мВт., т.е. при возбуждении участка мембраны, цитоплазма меняет знак по отношению к межклеточной среде. Процесс инверсии сопровождается несколько секунд и сменяется процессом возвращения клетки в стационарное состояние является изменением знака цитоплазмы с плюса на минус называется деполяризацией. Увеличение положительного потенциала клетки называется гиперполяризацией. Возвращение клетки в стационарное состояние называется реполяризацией.

Процесс деполяризации имеет вид:



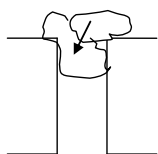
Процесс изменения проницаемости мембран для ионов Na происходит за счет возникновения дополнительных ионных каналов в клеточной мембране. Т.к. ионы K и Na гидрофильные, то для их переноса через билипидный слой необходимо наличие либо переносчика, либо каналов, пропускающих гидрофильные ионы. Процесс переноса ионов при помощи переносчиков отдают меньше времени инверсии, этот механизм не может обеспечивать деполяризацию мембраны. Исследования процесса возбужденной клетки указывает на изменение концентрации ионов внутри клетки, что может происходить с особым механизмом мембран каналов.

Основным пиком каналов для переноса ионов являются потенциал-зависимые каналы, они состоят из белковых молекул спиральной формы, внутренняя поверхность которого состоит из карбоксильной группы, обеспечивает движение гидроксильных ионов. Ионный канал такого типа обладает двумя элементами:

1. Селективным фильтром;
2. Воротный механизм.

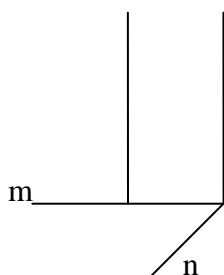
Селективный фильтр- группа белковых молекул, распределенных вблизи канала, на внутренней или внешней стороне мембраны. Фильтр осуществляет отбор молекул, для которых предназначен этот канал.

Переход от открытого состояния к закрытому происходит за счет работы воротного механизма- группа белковых молекул, которые могут изменять свою структуру, переходя из одного состояния в другое закрывая при этом вход в ионный канал. Сигналом для действия воротного механизма является группа белковых молекул изменяя свое состояние под действием определенных молекул, первый тип канала- потенциалозависимые. Второй- химический чувствительный.



Избирательность канала каждого типа не абсолютна, что связано с тем возможным диаметром белковых каналов, составляет $d=2\text{ нм}$. Поэтому через натриевый канал могут проникать 11 различных ионов, атом K^{+} проникает лучше, чем атом Na^{+} . Проницаемость натриевого канала для K^{+} в 12 раз хуже, чем для самого Na^{+} . Для рубидия Na^{+} канал не преодолит, тоже самое касается и аниона. Избирательность калиевого канала выше, чем для Na^{+} и пропускает лишь 4 вида катионов, Na^{+} не проникает через калиевый канал. Устройство селективного фильтра калиевого канала не известно, т.к. он находится внутри клетки.

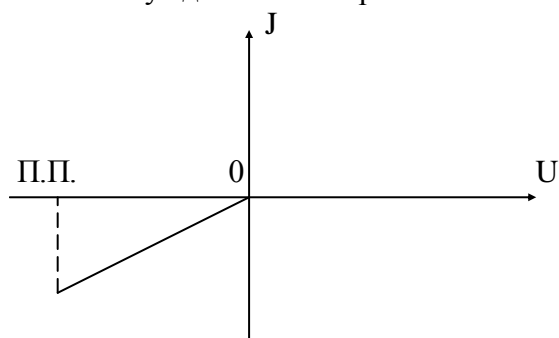
Изменение мембран проводимости связано с работой ионных каналов, но каждый отдельный ионный канал может находится лишь одним из двух состояний в закрытом или открытом. При открытом канале обеспечивается ток. Возможный ток ионов, который обеспечивается концентрационным или электрическим grad . В закрытом состоянии канал не пропускает ионы, потому мембранная поверхность определяется числом открытых каналов. Современная функциональная модель действия Na^{+} потенциал зависимого канала представляет существования в нём двух типов ворот; работающих в противофазе и обладающих разными инерциальными свойствами. Более подвижные, лёгкие называются m-ворота; тяжёлые менее подвижные, p-ворота. В состоянии покоя p-ворота открыты, m-ворота закрыты. При дигиперполяризации мембран ворота обоих типов приходят в движение, но вследствие различных инерциальных свойств, m-ворота успевают открыться раньше, чем закрыться p-ворота. В это время натриевый канал открыт и ионы натрия поступают в клетку. При закрытых p-воротах ток ионов через мембрану переправляется и наступает реполяризация при которой ворота возвращаются в исходное состояние.



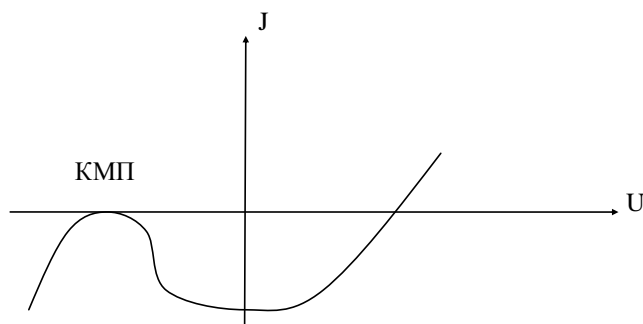
Возбудимые и не возбудимые мембраны.

Все клеточные мембраны можно разделить на возбудимые и не возбудимые мембраны. В состав возбудимых мембран входят потенциально зависимые каналы, в состав невозбудимых мембран входят лишь химическочувствительные каналы. Возбудимыми являются нервные и мышечные ткани, в которых за счёт потенциально зависимых каналов возможно возникновение потенциала действия. Способность тканей отвечать на внешнее действие называется – возбудимостью. Количественная мера возбудимости – интенсивность порогового раздражителя, в ответ на который возникает потенциал действия.

В качестве ответа на внешнее раздражение может быть изменение обмена веществ, температуры, низкого сопротивления тканей, а также специфические реакции связанные с распространением нервного импульса. Возникновение потенциала действия является условием специфических реакций. Существенное различие между возбудимыми и не возбудимыми мембранами проявляется в их ВАХ. Для невозбудимых мембран ВАХ имеет линейный вид, т.е. при увеличении потенциала мембраны от потенциала покоя до 0, сила тока убывает до 0 т.е. проводимость мембраны в этом случае не изменяется. ВАХ возбуждённой мембраны имеет не линейный характер.



ВАХ невозбудимой мембраны



ВАХ возбудимой мембраны

При понижении потенциалов на мембране до определённого значения плотность ионного тока падает до 0, однако дальнейшее увеличение потенциала приводит к резкому нарастанию тока.

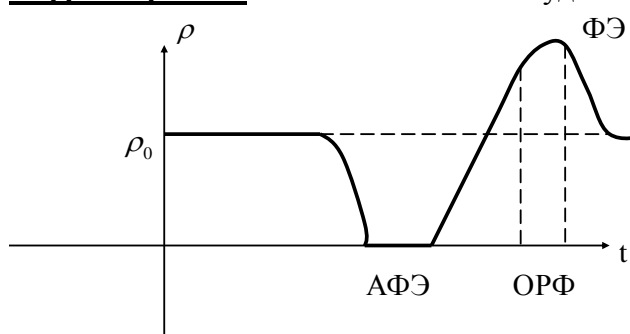
Уровень которого соответствует излому ВАХ называется критическим мембранным потенциалом. Нелинейность ВАХ свидетельствует о том, что дивользация возбуждения мембран начиная с критического мембранного потенциала вызывает изменение мембранной электропроводности. Критический мембранный потенциал соответствует такой дивользации мембран, которая соответствует открытию наиболее чувствительных потенциально – зависимых каналов.

Второй излом ВАХ соответствует открытию всех потенциалов на мембране.

Возбуждённая мембрана подобно системе положительной обратной связи. Уровень

мембранного потенциала может изменяться под действием различных раздражителей. Между сдвигом потенциала на не возбуждённой мембране и интенсивностью раздражителя существует пропорциональная зависимость, которая называется градуальностью. Для возбуждённых мембран, градуальность наблюдается лишь для критического мембранного потенциала, такие раздражители называются под пороговые. Пороговые и подпороговые раздражители вызывают раздражения на мембране потенциала действия. В отличие от градуальности, в этом случае оказывается справедливыми всё или ничего, т.е. возникающий потенциал действия уже не зависит от внешнего раздражителя. Амплитуда, длительность, крутизна фронта потенциала действия, зависит только от ионных градиентов мембран. С этой точки зрения возбудимую мембрану можно рассматривать как линейный усилитель, в этом случае критический мембранный потенциал составляет -20 -30 мВ, а потенциал действия вырабатываемой мембраны больше его на 100-120 мВ. Процент возбуждения мембран сопровождается рефрактерностью.

Рефрактерность – это изменения возбудимости мембран в процессе возбуждения.



Выделяют 3 стадии:

1. состояние полной утраты возбудимости называется абсолютно рефрактерной фазой. Она соответствует времени деполяризации мембраны, т.е. перехода от ПП к ПД. В течение этой фазы возбуждённая мембрана не может генерировать новый потенциал действия даже если интенсивность внешнего раздражителя превышает критический мембранный потенциал. Это связано с тем, что в этот момент времени все каналы открыты и дополнительный стимул не может изменить проводимости мембран.
2. Относительно рефрактерная фаза соответствует восстановлению возбудимости мембраны. Относительно рефрактерная фаза совпадает по времени с деполяризацией возбудимости мембран. В этом случае возникают закрытые ионные каналы на которые может воздействовать внешний стимул.
3. Фаза экзальтации т.е. область повышенной возбудимости клетки, что связано с увеличением чувствительности сенсоров возбудимости мембран. В этом случае структура белковых молекул, которая составляет сенсор напряжения нарушается, т.к. не успевает вернуться в исходное состояние и включится при более низких потенциалах.

Распространение возбуждения в клетках

Возбудимые мембраны относятся к не линейным активным средам. Активной называется среда генерирующая электромагнитное поле под действием внешних полей. Особенности распространения сигнала веществ в активных средах, система уравнения максвелла не учитывает. Нервные мышечные волокна элементы активной среды, в которые распространяются электромагнитные волны. Как и любая среда, нервные и мышечные волокна имеют сопротивление, т.е. энергия электромагнитного импульса рассеивается на атомах, молекулах, либо фотонах вещества, из которых состоят волокна.

Это свойство описывается декрементом затухания, т.е. в процессе распространения происходит уменьшения амплитуды потенциала по закону:

$$\begin{aligned} U &= U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \\ \tau &= R_n C_n \end{aligned}$$

Уменьшение амплитуды ПД происходит так же и в пространстве, т.е. в разных точках мембраны амплитуда ПД различна, т.е. существует зависимость:

$$\begin{aligned} U_x &= U_0 e^{-\frac{x}{\lambda}} \\ \lambda &= \sqrt{\frac{R_n}{R_i + R_e}} \end{aligned}$$

R_i - сопротивление цитоплазмы

R_e - сопротивление цитоплазмы межклеточной среды

Кабельные свойства волокон характеризуется низкой проводимостью, т.е. декремент затухания в невозбуждённой мембране оказывается значительным. Возбуждённая мембрана имеет тот же коэффициент затухания, однако если амплитуда ПД достаточна для возбуждения сенсорного механизма ионных каналов, то в этой части нервного волокна может возникнуть ПД, т.е. условие возбуждения.

$$U_x \geq |U_{пп} - U_{к.мн}|$$

Т.о. бездепрементное распределение сигнала по нервному волокну является результатом действия двух процессов:

1. Диприментарного распределения сигналов без возбуждения ПД.
2. Генерирование нового потенциала действия.

Такой механизм называется сальтаторное распределение сигнала. Первый этап протекает со значительно большей скоростью, чем второй. Скорость диспреминтарного распределения сигналов равна скорости распределения электромагнитных волн в среде. Второй этап более медленный в связи с изменением проницаемости мембран, что требует дополнительного времени. Скорость распределения сигналов по волокну тем больше, чем больше расстояние от места возбуждения предыдущего ПД. Эту особенность отражает постоянная длина, которая зависит от сопротивления цитоплазмы клетки и емкости мембраны нервного волокна. Постоянная длина увеличивается с уменьшением сопротивления цитоплазмы и увеличением ёмкости клеточной мембраны:

$$R_i = \rho \frac{\ell}{S}$$

ℓ - длина волокна.

S – площадь поперечного сечения волокна.

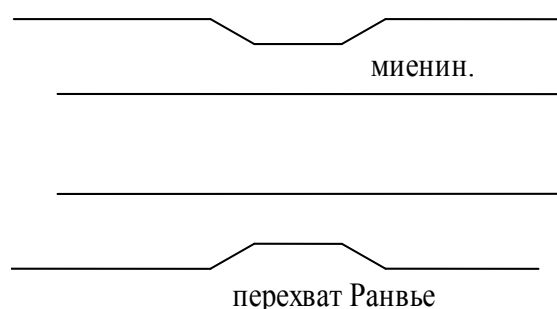
ρ - удельное сопротивление цитоплазмы.

Т.о. более толстые волокна обладают низким сопротивлением, и быстрее приводят возбуждение. Примером такой эволюции является появление гигантского аксона, толщина которого составляет 2 мм, в отличие от 10 мм обычных волокон. Однако такое решение проблема увеличения скорости распространения сигнала возможно лишь для организмов с малым числом нервных волокон. Для теплокровных животных число нервных волокон сетчатки глаза составляет, 10^6 и для обеспечения необходимой скорости распространения нервного импульса диаметр глазного нерва составил бы 1 м.

Эволюция животного мира пошла по пути снижения ёмкости мембраны нервных волокон, с этой целью большинство нервных волокон покрыты миелиновой тканью. Миелиновая оболочка нервного волокна представляет с собой много мембранную систему, включающую до 200 слоёв, плотно прилегающих друг к другу, при этом внутренний слой оболочки обеспечивает хороший контакт с цитоплазмой. Диффузия ионов через миелиновую оболочку практически отсутствует, что связано с отсутствием в ней ионзависимых каналов. В миелиновых волокнах генерация потенциала действия возможна лишь в той части волокна в которой отсутствует миелиновая оболочка. Эти места в мембране нервного волокна называются перехватом Ранвье. Наличие таких активных узлов является необходимым элементом сальтаторного механизма передачи сигнала. От одного перехвата Ранвье до следующего сигнал распространяется декрементно со скоростью электромагнитной волны. В области перехвата возникает ПД и происходит ретрансляция нервного импульса. За счёт появления миелиновой оболочки скорость распространения нервного импульса достигает 140 м/с. сальтаторный механизм сигнала обеспечивает существенную экономию энергии, так потребление кислорода при этом в 200 раз меньше чем при непрерывном распределении сигнала. Наибольшая скорость распространения сигнала. Наибольшая степень распространения сигнала наблюдается в миелиновых нервных волокнах диаметром 10-15 мКм, причём толщина миелиновой оболочки достигает 50% диаметра. Скорость распространения нервных импульсов оказывается пропорциональна квадратному корню из диаметра.

$$v = \frac{H}{C_m} \sqrt{\frac{r}{3R_i}}$$

C_m ёмкость мембраны.



Уравнение Ходжкина Хаксим.

Впервые материальная модель распространения нервного импульса в аксоне была предложена в 1961 г. Ходжкином и Хаксимом. При построении математической модели распространения импульсов в активной среде необходимо учитывать изменение проводимости мембран для ионов калия, натрия и некоторых других видов ионов. Для этого в модели использовались проводимость мембран для различных ионов.

Построение модели опиралось на два предложения:

1. Ионы калия проникают через мембрану при сдвиге потенциала до критического лишь тогда, когда вблизи калиевого канала присутствуют 4 активирующие этот процесс частицы.

$$g_{Na^+}, g_{K^+}, g_A$$

$$g_{K^+} = g_{0K^+} + h^4$$

g_{0K^+} максимальная удельная электропроводимость мембраны при всех открытых калиевых каналах.

h – вероятность подхода к каналу одной активной части.

2. Ионы натрия проникают через мембрану лишь в том случае, если вблизи канала находится 3 активных частицы и одна блокирующая.

$$g_{Na^+} = g_{0Na^+} m^3 n$$

g_{0Na^+} max. удельная электропроводимость мембран при всех открытых натриевых каналов.

m – вероятность подхода к каналу одной активной частоты.

n – вероятность подхода к каналу одной блокирующей частицы.

На основании экспериментальных данных, а именно за счёт измерения токов через мембрану гигантского аксона при различных напряжениях, было установлено, что суммарный ток мембраны складывается из следующих токов:

$$I_{cm} = C_m \frac{dU}{dt} \quad \text{- ток смещения}$$

C_m - ёмкость.

$$I_{k^+} = g_{0k} + h^4 (U - U_{k^+}) i^{U_{k^+}} = 12 mB \quad \text{- ток ионов калия}$$

$$I_{Na^+} = g_{0Na^+} + m^3 n (U + U_{Na^+}) \quad \text{- ток ионов натрия}$$

$U_{Na^+} - 115B$

Суммарный ток возникающий за счёт других ионов.

$$J_L (U - U_L) \quad U_L = 1mB$$

Т.о. полный ток

$$I = C_m \frac{dU}{dt} + g_{0k} h^4 (U - U_{k^+})$$

Т.о. ток через мембрану зависит от приложенного напряжения и от вероятности подхода активирующих и блокирующих частиц к ионным каналом. Для их определения была использована следующая система уравнений составленная из законов кинетики:

$$\begin{cases} \frac{dh}{dt} = \alpha_h (1 - h) - \beta_h \\ \frac{dm}{dt} = \alpha_m (1 - m) - \beta_m \\ \frac{dn}{dt} = \alpha_n (1 - n) - \beta_n \end{cases}$$

$$\alpha_h = \frac{0,1(4 - 10)}{e^{\frac{4+10}{10}} - 1};$$

$$\alpha_m = \frac{0,1(4 + 25)}{e^{\frac{4+25}{25}} - 1}$$

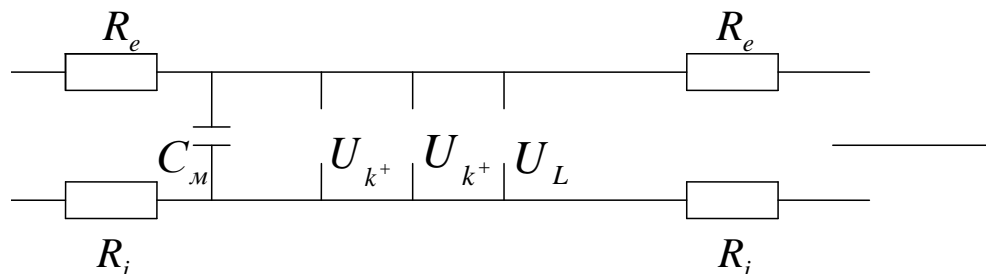
$$\alpha_n = 0,7 e^{\frac{4}{26}}$$

$$\beta_h = 0,125 e^{\frac{4}{20}}; \beta_m = 4 e^{\frac{4}{10}}; \beta_n = \frac{1}{e^{\frac{4+20}{20}} + 1}$$

α, β - константа которая зависит от потенциала на мембране и могут быть определены экспериментально. В зависимости от значений напряжений изменяются величины

коэффициентов и соответственно изменяется вклад в общий ток тех или иных ионов, так при достижении потенциала 112мВ происходило открытие каналов Na, при других потенциалах больший вклад давали ионы K.

Нервное волокно можно представить в виде эквивалентной элементарной схемы с распределёнными параметрами в качестве активного сопротивления, увеличивающего амплитуду сигналов вводится генератором ионов K, Na и др. т.е. схема может быть представлена:



Уравнение распространения нервного импульса вдоль такой линии с некоторой константой скоростью описывается волновым уравнением:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}$$

Для распределения импульса, вдоль волокна который соответствует форме нервного волокна.

Сила тока в волноводе имеет вид:

$$I = \frac{r}{2R_i} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$$

x – координата, вдоль которой, распространяется волна.

R_i - сопротивление цитоплазмы.

Объединяя полученное выражение, для силы тока X и x получим уравнение для определения скорости:

$$\frac{r}{2R_i} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = \frac{1}{v} \left[\frac{1}{C_m} + g_{ok^+} h^4 (U - U_k) + g_{Na} m^3 h (U - U_{Na^+}) + g_{oL} (U - U_L) \right]$$

В соответствии с уравнением теоретически получено значение скорости распространения, экспериментально получим значение $v_{\text{экс}} = 21,1 \text{ м} \cdot \text{с}$

Синоптическая передача.

Декрементный и не декрементный механизм передачи возбуждения характерен для распространения нервного импульса в пределах 1 клетки. Переходящее возбуждение от одной клетки на другую требует особого дополнительного механизма. Такой переход получил название синоптической передачи.

Существует 2 вида синоптической:

1. Электрический.
2. Химический.

Электрическая, СП возможна лишь при плотном контакте двух клеток, величина зазора между клетками не может превышать 10-15нм. В этом случае процесс возбуждения может передаваться за счёт перехода электромагнитных волн от одной мембраны на другую, т.е. происходит возбуждение ПД в мембране второй клетки за счёт потенциала первой клетки – это есть электрический синопс. Однако, электрический синопс встречается довольно

редко, не более 1-3% от общего числа передач. В большинстве контактов расстояние между мембранами превышает 20 нм и электрический синапс оказывается невозможен даже при наличии щелевых контактов, что связано с быстрым затуханием волны в проводящей среде. В этом случае в передаче возбуждения участвующие химические посредники - медиатор. Впервые гипотеза о химическом синапсе была сформулирована в 1924 году Самойловым А.Ф. в последствии многократно подтверждена экспериментами. Синоптическая передача состоит из трёх основных элементов:

1. Пресиноптическая структура.
2. Синоптической щели.
3. Постсинаптической мембраны.

1-е и 2-е принадлежат к 1-ой клетки, 3-е ко 2-ой клетки.

Медленный поток медиаторов через постоянную структуру не возбуждает клетку.

Движение медиатора резко ускоряется при деполяризующем мембранном потенциале.

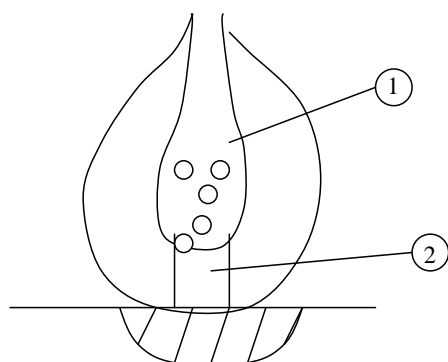
При этом открываются Са каналы, что приводит к притоку ионов Ca^{+} в структуру из межклеточной среды. Избыток Ca^{+} понижает заряд мембранных пузырьков, содержащих медиаторы и тем самым способствует перестройке пресинаптической структуры, которая в результате пропускает большее количество медиаторов.

Т.о. нервный импульс ускоряет экзоцитоз медиаторов через мембрану 1-ой клетки. В течение нескольких мкс медиатор достигает постсинаптической мембраны и начинает взаимодействовать с тем её участком, который расположен напротив симпатической щели.

Этот участок постсинаптической мембраны, называется субсинаптической мембраной.

Субсинаптическая мембрана существенным образом отличается от остальных участков постсинаптической мембраны. Она не обладает возбудимостью, т.к. не содержит потенциально зависимых каналов. Однако в ней находятся особые гемочувствительные каналы, которые открываются под действием медиаторов. Сенсором медиатора является особые гликопротеидные комплексы, входящие в состав субсинаптической мембраны. Между молекулами медиатора и данными комплексами существует структурное соответствие, обеспечивающее высокую избирательность и их взаимодействие. В субсинаптической мембране находятся ферменты, разрушающие как сами медиаторы так и их комплексы с гликопротеинами. В результате открытия ионных каналов увеличивается чувствительность субсинаптической мембраны. В том случае если открываются натриевые каналы, то возникает градуальная деполяризация субсинаптической мембраны. Если же открываются калиевые каналы, то мембрана гиперполяризуется. Так как мембрана не возбудима, то амплитуда де- и гиперполяции определяются числом открытых каналов, т.е. числом медиаторов, переходящих на субсинаптическую мембрану. Деполяризация субсинаптической мембраны может обеспечить возникновения потенциала действия, а, следовательно, и передачу возбуждения второй клетки. Гиперполяция затрудняет синоптическую передачу возбуждения, т.е. тормозит нервный импульс, поэтому все химические синапсы подразделяются на две группы: возбуждение и торможение. В первой группе медиатор возбуждает деполяризацию, во второй – гиперполяцию. При деполяризации на субсинаптической мембране возникает возбуждённый постсинаптический потенциал. Он создаётся за счёт открытия натриевых каналов. Примером такого импульса может быть система, состоящая из ацетилхолина в качестве медиатора и холинорецепторов, входящих в состав субсинаптической мембраны. Адсорбция ацетилхолина на холинорецепторных называют конформационную перестройку молекулы рецептора с образованием внутри него каналов, через который диффундируют внутрь второй клетки ионов натрия. В большинстве синапсов поток ионов через каналы продолжается не более 1мс. В это время комплекс медиатора и рецептора разрушается ферментами. Ионная проницаемость мембраны резко падает и возбуждающий постсинаптический потенциал исчезает.

Субсинаптическая мембрана не может генерировать потенциал действия, так как нет потенциал зависимых каналов. Но возбуждающий постсинаптический потенциал декриментно распределяется на соседние области мембраны, обладающий потенциально зависимыми каналами, диполеризация их в том случае, если значение потенциала при достижении канала превышает критический мембранный потенциал. В том числе, возникший потенциал действия распределяется по всем клеткам на все мембраны, достигая области, где существует новая писинаптическая структура и новые медиаторы. Вся последовательность процесса химического синапса занимает значительно больше времени по сравнению с распределением вдоль клетки или при передачи возбуждения электрического энергии синапса. Это время называется синапсной задержкой. Для млекопитающих она составляет 0,3мсек. В случае возникновения на субсинаптической мембране тормозного постсинаптического потенциала, возникший гиперполяризационный сдвиг потенциала декриментно распределяется вдоль постсинаптической мембраны снижая её возбудимость. Одни и те же медиаторы в разных постсинаптических мембранах могут вызвать как возбуждение, так и торможение постсинаптических потенциалов, однако постсинаптические мембраны в 1-й клетки при взаимодействии с данным медиатором дают однозначно одинаковый эффект. С одной клетки могут контактировать присинаптические структуры с разными медиаторами, при этом некоторые из них диполерезуют, другие гиперполерезуют данную клетку. Результирующий эффект определяется алгебраической суммой потенциалов, создающих каждым медиатором. Т.о. клетка представляет с собой интегрированное устройство, число химических синапсов на теле Нерона достигает $3 \cdot 10^8$



1-пресинаптическая мембрана.
2- синаптическая щель.

Биофизические основы электрографии.

В условиях покоя мембрана клетки представляет собой эквипотенциальную поверхность. При возбуждении клетки эквипотенциальность нарушается, за счёт изменения знаков возбуждённых участков мембраны по отношению к не возбуждённым. При распространении возбуждения эта область смещается. Движение возбуждения можно зарегистрировать при помощи внешних электродов. Пара электродов регистрирует двухфазный потенциал возбуждения обладает гораздо меньшей амплитудой по сравнению П.Д. возникающим, внутри клетки. При измерении биопотенциалов от мышцы или целого нерва амплитуда ионного сигнала опаздывает ещё меньше. Что связано с затуханием сигналов при распространении в проводящей среде. Кроме того суммарный потенциал мышцы или целого органа является алгебраической суммой П.Д. многочисленных клеток, которые различаются по фазе, поэтому их амплитуда градуально зависит от интенсивности внешнего раздражителя т.о. биопотенциал целого органа

является суперпозицией простых сигналов связанных с распространением возбуждения в клетках и между клетками.

Электрокардиограммой – называется кривая, отображающая изменения во времени, разности потенциалов на поверхности органа, ткани или всего органа человека. При распространении возбуждения по сердечной мышце.

Электроэнцефалограммой – является следствием распространения возбуждения по головному мозгу.

Электробиограммой – характеризует распространения возбуждения по скелетным мышцам.

При анализе происхождения электрограмм принято представлять соответственные органы в виде эквивалентного генератора. Такой генератор служит моделью реальных биопотенциалов и позволяет математически оптимизировать физические процессы распределения возбуждения. Для анализа распределения электрических полей вокруг генератора его принимают за токовый электрический диполь. Движение электрических зарядов в возбуждённых участках органа соответствует отрицательному потенциалу, а не возбудимые положительный. Т.е. любой орган в возбужденном состоянии можно рассматривать как диполь, основным параметром которого служит дипольный

момент: $\vec{P} = I\vec{\ell}$

I - сила тока.

ℓ - расстояние между участками мембраны максимальной проводимостью и отсутствием возбуждения.

При распространении возбуждении вдоль органа необходимо учитывать не только величину силы тока и размеры областей диполя, но и фазовый сдвиг между отдельными диполями. Любая электрограмм представляет собой сложные колебания, образующиеся при положении более простых следовательно каждой электрограмм соответствует определённый гармонический спектр.

Изменение электрограмм вызывает изменение спектра гармохимических колебаний.

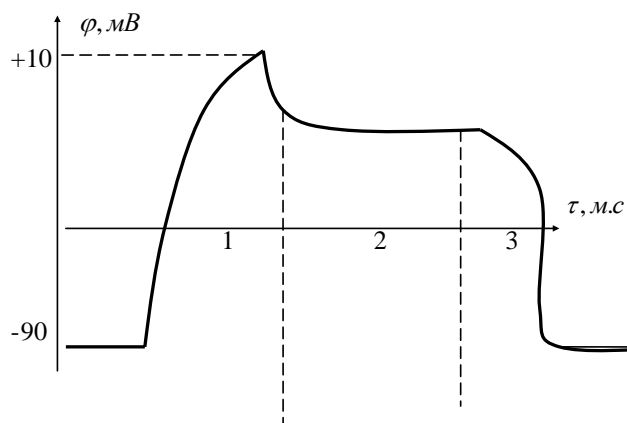
Например, на электрокардиограмме частота основной гармоник составляет 1,1 Гц при частоте импульса 60 уд/мин. Однако ширина спектра состоящего из 34 линий занимает диапазон от 1,1 ÷ 20 Гц. При увеличении частоты пульса ширина спектра значительно увеличивается.

Биофизические механизмы возбуждения сердечных мышц определяется теми же процессами, что и в любых потенциально зависимых каналов. Источником энергии любого процесса являются молекулы АТФ, П.П. определяется лучшей проницаемостью ионов калия, по сравнению ионами органических кислот. А возникновение П.Д. является следствием проникновения ионов Na внутрь клетки. Дополнительный вклад П.Д. сердечной мышцы несут кальциевые подзависимые каналы.

Возбуждение распространяется по сердцу без затухания благодаря ионно-электросиноптической связи. Однако процесс распространения возбуждения в сердце имеет свои особенности. Прежде всего сердечные мышцы неоднородны.

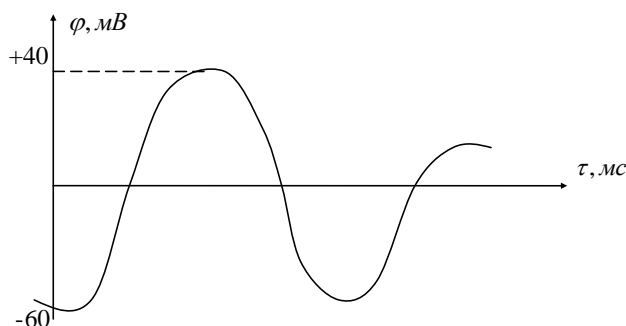
Различают два вида мышц:

1. Типичные миокардиальные волокна, которые выполняют сократительные функции сердца и представляют большую часть сердечных мышц.
2. Атипичные миокардинальные волокна занимающая лишь не большую часть между этими группами мышц существует различие как в строении, так и в электрических свойствах. Для типичных характерен мембранный постоянный П.П., равный – 30 мВ. При возбуждении типичных миокардных волокон достигает +10 мВ за 20 мс. В отличие от нервных клеток реполяризация сердечных мышц имеет некоторые отличительные черты связанные с большой длительностью печальной фазой релаксации достигающей 250 мс в отличие от 10 мс первого волокна. На реполяризационной ветви П.Х. сердечной мышцы можно выделить 3 части:



начальная быстрая, длительная и быстрая реполяризация да П.П.

Иначе изменяется мышечный потенциал А. м.в. В них отсутствует устойчивый уровень реполяризации, т.е. нет П.П.



Электрическая активность этого вида волокон представляет с собой непрерывные колебания мембранного потенциала. По достижении определённой величины потенциала порядка – 60 мВ, самопроизвольно начинает развиваться медленная деполяризация, и при достижении – 40 мВ процесс ускоряется. Деполяризация смещается реполяризацией.

Т.о. для АМТ характерно безостановочная динамика мембранных процессов, лежащей в основе самопроизвольной ритмической деятельности сердца. Свойства миокардно – возбуждается под влиянием потенциала без внешнего воздействия, называется автоматизмом или овтоматией сердца.

Механизм возбуждения по миокардо.

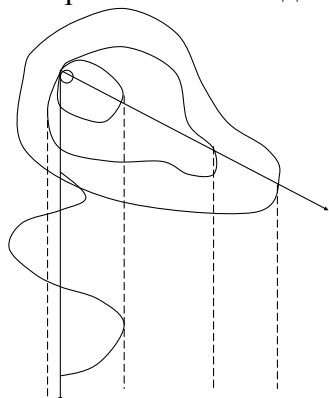
АМТ сосредоточена в виде островков, окружённой типичными миокардиальными волокнами. Особенности поведения возбуждения по миокарду связано, способами соединения между собой отдельных волокон. Основой соединения волокон является составные диски, которые обеспечивают связь между волокнами за счёт наличия в дисках щелевых контактов. Диски обеспечивают экторосиноптическую связь не только между торцами волокон, но и между боковыми поверхностями. Благодаря экторосиноптической связи всеми сердечным мышцам присуще свойство отдельной клетки. Т.е. возбуждение происходит по принципу «всё или ни чего». Возбуждение возникающие в АМВ за счёт дисковой связи свободно переходит и на ТМВ, распределяясь по всему сердцу, между АМВ установлен чёткий приоритет. Ведущим участником в процессе возникновения колебаний является участок

расположенный в правом предсердии, который называется синоаурикулярный узел. Это совокупность АВМ, которая создаёт ритм при его возбуждении другие островки АВМ выполняют только функцию проведения сигнала, повторяя ритм синоаурикулярного узла. Поэтому этот участок ещё называют пейджером. От синоаурикулярного узла возбуждение переходит на типичные МВ предсердия и распределяются по ним со скоростью 1м/с, за 40 мс участки предсердия оказываются в возбуждённом состоянии. Возбуждение распределяется широким фронтом радиально это связано с различным числом уцелевших контактов между боковыми поверхностями волокон. В результате по направлению к желудочкам возбуждения распространяется быстрее, чем поперёк к предсердию. В результате достигается одновременное сокращение всех мышц предсердия. В результате возбуждения в районе желудка возникает в атриовентрикулярном узле расположенном на границе между предсердием и желудочком. В целом предсердие отделено от желудочка фиброзной тканью, не проводящей возбуждение. В этой преграде существует узкая щель длиной -2 мм, шириной -1мм, заполненная АВМ, которая образует атриовентрикулярный узел. Через него проходит возбуждение через предсердие к желудочкам связь между типичными МВ и АВМ атриовентрикулярного узла имеют большое сопротивление что приводит к резкому замедлению распределения возбуждению атриовентрикулярном узле(скорость уменьшается до 50 раз). Это связано с тем что верхняя часть узла АВМ расположен поперёк распределению сигнала и имеют малое число дисков, соединяющие эти волокна. Возникающая временная задержка обеспечивает важнейшую для нормальной работы сердца паузу между сокращениями. Сокращение желудочка начинается через 0,1 секунду после начала сокращения предсердия. Это обеспечивает заполнение желудочка кровью и предсердия, накопленной за время диастолы. После атриовентрикулярного узла возбуждение единым фронтом переходит в следующее звено проводящей системы – атриовентрикулярный пучок или пучок Гиса. Скорость распределения возбуждения в пучке Гиса резко возрастает и достигает 2-3м/с. Увеличение скорости связано с увеличением площади сечения волокон и повышением плотности щелевых контактов. Пучок Гиса ТМВ желудочка и практически не имеет с ним связи, поэтому возбуждение распространяется вдоль пучка не распространяясь в желудочке. Только ближе к верхушке сердца от пучка отходят волокна Пуркенье образуя связь типичными миокардиальными волокнами желудка. Волокна Пуркенье являются самыми толстыми и обеспечивают скорость распределения возбуждения до 5 м/с. Возбуждение с отдельных волокон Пуркенте переходит на большое число ТМВ желудочка вызывая их сокращение причём сокращения начинаются от вершины сердца и движется к основанию. Последним возбуждение приходит к волокнам вблизи предсердия. Направление сокращения желудков от вершины к основанию обеспечивает полное выталкивание крови из желудочков в кровеносные сосуды.

Интегральный электрический вектор сердца.

Сложный путь распределения возбуждения в сердце отображается на ЭКГ, которая имеет вид системы зубцов разной амплитуды и длительности. Модели генератора ЭКГ является токовый диполь, возникающий как положение множество дипольных моментов отдельных участков сердца. При этом число, положение, амплитуда непрерывно изменяется. В результате на поверхности сердца возникает сложная система изменяющихся потенциалов. Поэтому следить за потенциалом каждой точки сердечной мышцы не целесообразно. Удобнее рассматривать результирующий дипольный момент равный векторной сумме токовых диполей отдельных участков сердца. Этот вектор называется интегральным электрическим вектором сердца. В ходе сердечной деятельности и ЭВС претерпевает непрерывное изменение, который соответствует каждому этапу распространения возбуждения сердца. Измеряя амплитуду и направления и ЭВС можно получить информацию об особенностях распределения возбуждениях и о

свойствах миокарда, также о возможных отклонениях от нормальной работы сердца. При подаче электрических потенциалов на осциллограф на экране возникают фигуры, представляет с собой траекторию движения и ЭВС плоскости перпендикулярной направлению возбуждению. Такое исследование называется вектор электрокардиографии и на экране обычно выделяют структуры:



Самый малый эллипс p – описывает диполизацию предсердия самый крупный R диполизацию желудочка средний T – их реполяризацию. Проекция эллипса на ось перпендикулярно распространению импульсов, имеет вид ЭКГ. Изменение проекции и ЭВС зависит от положения точек в которой фиксируется потенциалами. Принята гексагональная система координат- система стандартных отведений имени Эйнтховена. В этом случае при практической реализации электролиза накладывают на левую ногу и обе руки. Первым отведением считают регистрацию разности потенциалов между двумя руками. Вторым между правой рукой и левой ногой, третьим между левой рукой и левой ногой. При любых отведениях ЭКГ имеет вид системы зубцов. Важным параметром ЭКГ служат временные интервалы между зубцами. Уменьшение скорости распространения возбуждения между зубцами указывают на повреждения мышц сердца. На основании нескольких ЭКГ можно построить и ЭВС, представляющий с собой электронную ось сердца. Т.е. вектор соединяющий два сочетания сердца, обладающий в данный момент наибольшей разности потенциалов. Реально это вектор соединяющий возбуждённые желудочки сердца и сечение предсердия в состоянии деполяризации. Электрическая ось сердца чаще всего совпадает с естественной осью симметрии. Отклонение оси вправо или влево служит признаком изменения сердечных мышц в правом или левом желудочке соответственно.

Биофизика сократительных процессов.

Мышечная активность – это общее свойство всех живых организмов, принцип действия у всех мышечных сокращений одинаков в любом организме.

Мышечные клетки отличаются от других возбуждённых клеток сократимостью, т.е. способность генерировать электрическое напряжение за счёт изменения продольных размеров клетки.

Кроме того мышцы являются генератором тепла, мышечная активность обеспечивает работу отдельных органов и целых систем. Например: опорно-двигательный аппарат, лёгкие, сосудистая активность, желудочно-кишечный тракт, мышцы сердца.

Мышечная ткань представляет собой совокупность мышечных клеток, волокон, межклеточного вещества в виде каллогена или эластина – в кровеносных сосудах.

Мышцы по строению делятся на гладкие мышцы кишечника и стенок сосудов и поперечно полосатые мышцы скелета, и мышцы сердца.

Отдельное мышечное волокно имеет диаметр 20-30 мкм и окружено мембраной толщиной 10 мкм. Каждое волокно – это сильно вытянутая клетка длиной от сотни _ до 5 см. Внутри волокна кроме ядра, _ находится сократительный аппарат клетки, им является _ . В одной _ объединены 2500 _ которые представляют собой комплексы молекул актина и миозина. Это белковые соединения образующие нитевидные структуры. Диаметр актин. нити 4 нм, миозин. 10-14нм.

В невозбуждённом состоянии мышечное волокно представляет собой актинов. нити расположенные в промежутке миозиновых нитей. Важнейшим элементом _ является тонкая мембрана диск Z _ , сквозь которые проходят актиновые нити и миозиновые. Мембрана фиксирует их пространственное положение и создаёт условия смещения актиновых нитей относительно миозиновых при сокращении мышц.

Диск Z _ вместе (актинов. и миозинов. образует _ основной двигатель элемент мышцы). Каждая миозиновая нить взаимодействует с 6 актинов. а каждая актинов. с 3мя миозиновыми.

Процесс сокращения мышц связан с возникновением миозиновых мостиков, т.е. частиц миозиновой мембраны выступающей в строго определённой последовательности и прикреплённым к активным нитям в строго определённых местах.

Образование миозиновых мостиков осуществляет _ преобразование энергии АТФ в механическую работу при сокращении мышц. На выполнение механической работы используется лишь 20% энергии освобождаемой при гидролизе АТФ, остальная превращается в тепло. В невозбуждённом состоянии миозиновые мостики разомкнуты, при возбуждённом они замыкают _ актиновыми нитями и укорачивают, деформируя актиновую нить, в результате _ в целом укорачивается, что и приводит к сокращению мышцы.

По мере увеличения числа мостиков происходит большее сокращение мышц. Миофибрилла начинает сокращаться при наличии электрического сопряжения между выделением энергии и началом сокращения. Сигналом для сокращения является увеличение концентрации ионов Са в цитоплазме клетки, более 2-10 _.

В состоянии покоя концентрация ионов Са не превышает 2 10 _ . Для возникновения сокращения мышцы при появлении потенциального действия иона Са поступают в клетку через мембрану из _ сети, которая представляет собой систему пузырьков или цистерн отделённых от цитоплазмы мембраной, занимает до 10% мышечного волокна.

Содержание ионов Са в _ сети составляет 2 10 _ .

В состоянии покоя мембранная проницаемость для ионов Са отсутствует. _ сеть расположена вблизи Z _ диска, около _ , причём мембрана в этой части волокна образует трубочки длиной 10 мкм, при диаметре волокна 80 мкм. В области Z диска трубочки совместно с двумя цистернами образуют саркоплазматическую сеть. _____

Сигналом к сокращению мышц служат потенциалом действия, который поступает через химический синапса от нервного волокна к мембране мышечного волокна.

В результате открытия потенциал зависимых кальциевых каналов а мембране СПС из цистерн цитоплазмы поступает ионы Са. При увеличении концентрации ионной кальций активизируется миозиновые мостики и происходит сокращение мышц. Выход ионов Са из цистерн прекращается сразу после деполяризации, однако, в сокращённом состоянии мышцы находятся вплоть до снижения концентрации 10^{-8} моль / л

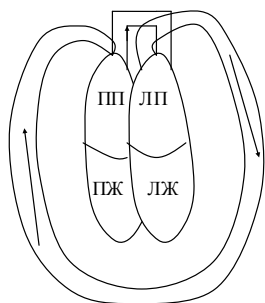
Снижение концентрации происходит за счёт активного транспорта, возвращающие ионы Са в цистерну. Т.о. электромеханическое направление сокращения мышц состоит из следующих параметров:

1. Возникновение ПД в нервном волокне.
2. Деполяризация мышечного волокна в районе СПС, которая открывает потенциал-зависимые кальциевые каналы.
3. Выход ионов Са в цитоплазму.

4. Расслабление мышц связанные с реполяризацией, которая следует при уменьшении концентрации ионов Ca в цитоплазме.

Общие закономерности системы кровообращения.

Кровообращение происходит в ССС, состоящей из большого и малого круга кровообращения и сердца, которое за счёт мышечных сокращений обеспечивает движение крови. Кровообращение происходит из левого желудочка.



С технической точки зрения в систему кровообращения можно представить в виде комбинированного многокамерного насоса. Механизм сокращения сердца происходит по обычному механизму сокращения мышц. В следствии критического характера существуют циклы сердечных сокращений, состоящих из определённой последовательности механических процессов. За счёт сокращения сердца левый желудочек нагнетает кровь в большой круг, а правый – в малый. Левое предсердие выполняет работу по наполнению левого желудочка, чем способствует эффективности нагнетательной работы левого желудочка, ту же самую работу выполняет правое предсердие. Нагнетательную функцию сердца можно представить как действие двух насосов, которые подключены последовательно. При этом правый и левый насос за один цикл перекачивает один объём крови. Сокращение предсердий с задержкой в 0.1 секунду, для того, что бы максимально заполнить желудочки. Сокращение сердца называется систолой, расслабление – диастолой.

Во время систолы в работе желудочков выделяется несколько фаз:

1. Асинхронное сокращение желудочков происходит при открытии створок и полулунных каналов, отделяющих желудочки от предсердия и аорты. Сжатие происходит изотонически.
2. Изометрическое сокращение желудочков происходит при закрытых полулунных и открытых створочных каналов.
3. Быстрое изгнание крови из желудочков.
4. Медленное изгнание крови из желудочков.

Чередование этих фаз обеспечивает наиболее эффективную работу сердца. Работа сердца затрачивается на выталкивание крови в магистральные сосуды против сил давления и придания крови кинетической энергии. Первый компонент работы сердца называется статическим и определяет среднее давление крови в соответствующие магистральном сосуде. Изменение кровяного давления в процесс сокращения сердца является сложной изменяющей функцией.

$$P_{cp} = \frac{\int_0^t p(t) dt}{T}$$

Среднее давление крови для большого круга кровообращения составляет 100 мм р.т., для малого 15мм р.т. Статическая часть работы сердца определяется определением среднего давления на объём крови, выбрасываемым желудочком за систолу.

$$A_{\text{сост}} = p_{\text{ср}} * V_{\text{систо́лы}}$$

Кинетическая компонента работы сердца определяется плотностью крови и скоростью кровотока в магистральных сосудах.

$$A_{\text{кин}} = \frac{\rho V^2}{2}$$

$$V = 0,8 \text{ м/с}, \rho = 10^3 \text{ Н/м}^3$$

$$A_{\text{кин}} = 0,02 \text{ Дж}$$

$$A = A_{\text{ст}} + A_{\text{кин}} = 1 \text{ Дж}$$

При физической работе кровеносное давление увеличивается, но в большей степени возрастает скорость кровотока, в этом случае кинетическая компонента работы сердца воспринимает до 30% работы общее соотношение.

Основные показатели гемодинамики крови.

Движение крови по кровеносным сосудам изучает гемодинамика. Основами гемодинамики являются:

1. Скорость кровотока,
2. Кровеносное давление,

Различают объёмную и линейную скорость кровотока.

Объёмная скорость – это объём крови протекающий в единицу времени через сечение сосуда

$$Q = \frac{V}{t}$$

Линейная скорость - это путь, проходимый частицами крови за единицу времени .

$$V = \frac{l}{t}$$

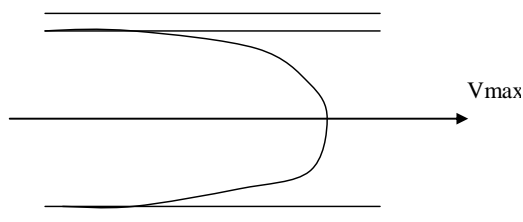
Для крови справедливо условие непрерывности, согласно которому через слабое сечение кровеносной системы в единицу времени протекают одинаковые объёмы крови.

$$V_1 S_1 = V_2 S_2$$

Сечение кровеносной системы представляет собой поперечный разрез всех кровеносных сосудов на одном уровне ветвления:

1. соответствует аорте
2. через все артерии, на которые ветвится аорта
3. через капилляры, на которых ветвятся артерии.

Самым узким сочетанием в большом круге кровообращения является аорта, самым широким – капилляры. Средняя скорость кровотока состоит из разных скоростей из разных участков сечения сосуда и поскольку кровь является вязкой жидкостью, то распределение крови по сосудам имеет параболический характер.



Т.о. между слоями крови существует сила трения или вязкости:

$$F_{\text{тр}} = \eta \frac{dV}{dr} dS$$

Однако кровь представляет собой не Ньютоновскую жидкость, т.к. коэффициент массы вязкости зависит от величины grad скорости. Для больших сосудов с малым grad скорости коэффициент вязкости: $\eta_1 = 5$. Для мелких сосудов $\eta = 10$. А в капиллярах доходит до 800. Это объясняется тем, что кровь представляет с собой не однородную жидкость, а суспензию. В состав крови входят эритроциты, т.е. клетки, объединяются в «монетные столбики», т.е. конгломераты, создающих упругие структуры из частиц. В результате кровь приобретает свойства, присущие твёрдому телу. При увеличении grad «монетные столбики» разрушаются, что приводит к уменьшению вязкости крови при больших скоростях перетоков. Кроме того, вязкость крови не одинакова в широких и узких сосудах, т.к. зависит от количества эритроцитов.

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 - KC} \quad \text{коэффициент вязкости}$$

При уменьшении радиуса сосудов, коэффициент вязкости уменьшается пропорционально диаметру. Значение вязкости крови оказывает воздействие на характер ее движения. Движение крови может быть ламинарным и турбулентным, в зависимости от числа

Рейнольда:
$$\text{Re}_{\text{кр}} = \frac{\rho l V}{\eta}$$

Для однородной жидкости, т.е. плазмы крови $\text{Re}_{\text{кр}} = 2500$, для крови с эритроцитами $\text{Re}_{\text{кр}} = 900$. Для числа Рейнольда меньше критического движения крови – ламинарно, больше – турбулентно. В обычных условиях движение крови – ламинарно, при физической нагрузке – турбулентно. Влияние вязкости крови на кровеносное давление удобно проводить на основании уравнение Пуазеля:

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta l}$$

из этого уравнение следует, что изменение кровеносного давления определяется по формуле:

$$\Delta p = \frac{8 \eta l Q}{\pi r^4} \quad \text{или} \quad \Delta p = R_{\text{гд}} Q$$

Что определяется из аналогии с законом Ома:

$$U = RI$$

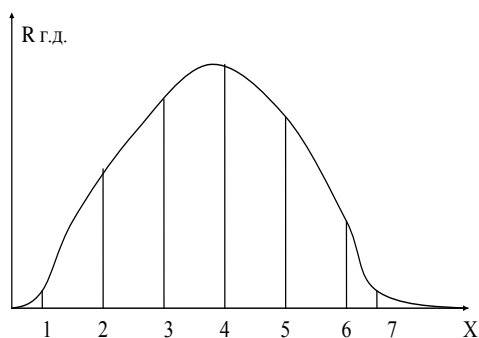
Гемодинамическое сопротивление:

$$R_{\text{гд}} = \frac{8 \eta l}{\pi r^4}$$

В электротехнике разработаны методы расчёта и анализа разветвлённых электрических цепей. Используя аналогии между кровеносной системой и электрической цепью можно сделать важные критические выводы о законах гидродинамики. Анализ уравнения Пуазеля указывает на то, что кровеносное давление зависит от объёмной скорости крови, т.е. от массы крови и сократительной деятельности сердца, задающий объёмную скорость движение крови.

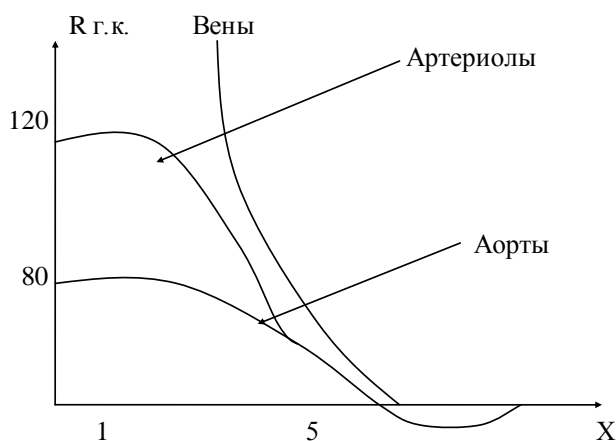
На основе анализа гемодинамического сопротивления можно сделать вывод о влиянии на условие протекания крови радиуса кровеносных сосудов. Небольшие колебания просветов в кровеносных сосудах оказывают воздействие на объёмную протекание крови, и

повышает кровеносное давление. Проанализируем изменение $R_{гд}$ гемодинамического сопротивления в различных частях кровеносной системы.



- 1-й участок, от 0 до 1 – это аорта,
- 2-й – артерии,
- 3-й – артериола,
- 4-й – капилляры,
- 5-й – вены.

Все крупные артерии имеют большой радиус и, следовательно, их вклад в гемодинамическое сопротивление: мало, хотя длина их достаточно велика. По мере удаления от сердца, число артерий включённых параллельно возрастает, что увеличивает общую площадь сечения сосудов, и снижает общее сопротивление. Однако, проходящее при этом уменьшение радиуса, каждого отдельного сосуда приводит к общему возрастанию сопротивления максимум гемодинамического сопротивления соответствует артериолом, переход от них к капилляром характеризуется значительным увеличением числа капилляров при небольшом изменении радиуса. Это приводит к снижению общего сопротивления. В венах гемодинамическое сопротивление снижается ещё больше. Изменение гемодинамического сопротивления определяется распределением кровеносного давления ССС человека. В аорте и кровеносных артериях изменение не велико.



В артериолах наблюдается максимальный перепад давления, а в венах давление может быть отрицательным за счёт эластичности стенок вен.

Биофизические особенности кровеносных сосудов.

По своим особенностям кровеносные сосуды делятся на 4 группы:

1. Артерии эластичного типа.
2. Артерии мышечного типа.
3. Капилляры.
4. Вены.

1.Артерии эластичного типа- поддерживают кровоток во время диастолы сердца, тем самым создавая непрерывный ток крови. Основу стенок артерии такого типа составляют белки двух видов:

- а) эластиновые нити.
- б) калогеновые нити.

Калогеновые имеют высокий коэффициент упругости. Модуль юнга для них равен

$$E_{\text{кал}} = 10^8 - 10^9 \frac{H}{m^2}$$

и в процессе распространения крови, почти не деформируется, лишь расправляясь внутри стенок сосудов. Упругие свойства калогенных нитей проявляются лишь при значительном растяжении сосудов, которые на много превышают предел изменения кровеносного давления. Благодаря калогенным нитям стенки сосудов не разрушаются, даже при десятикратном превышении кровеносного давления. Т. о. калогеновые волокна обеспечивают не упругость, а прочность. Волокна эластинового типа обладают меньшей

упругостью, модуль Юнга равен:

$$E_{\text{эл}} = 10^6 \frac{H}{m^2}$$

Их механические свойства обеспечивают направление в стенках сосудов, заставляя кровь двигаться во время диастолы сердца. Соотношение между эластиновыми и калогеновыми белками оказывается различным для различных артерий. Так в аорте эластина в 1,5 раза больше, чем калогена. В брюшной части аорты эластина в 3 раза меньше, чем в грудной, а в бедренной части аорты в 6-8 раз меньше. Такое распределение эластина обеспечивается формами аорты. Среди артерий эластинового типа, особая роль принадлежит грудной аорте, которая и выполняет основную функцию артерии этого типа. Источником энергии для работы аорты являются мышцы сердца, которые выполняют статическую и динамическую работу.

$$A_{\text{ст}} = P_{\text{ср}} V_{\text{сист}}$$

За счёт статической части работы, стенки аорты во время систолы расширяются. В момент диастолы – сокращаются. Упругость стенки аорты служит причиной ещё одного важного явления, возникновения и распределения пульсовой волны. Сокращение стенок аорты создают периодические колебания крови. Зависимость скорости пульсовой волны от состояния стенок сосудов позволяет определить нарушение в кровеносной системе. Скорость пульсовой волны определяется Е- модулем Юнга, b- толщиной стенок, r- радиусом сосудов, ρ - плотностью крови.

$$V_{\text{п}} = \sqrt{\frac{bE}{2\rho r}}$$

Пульсовая волна возникает в аорте и затухает в капиллярах. Кривая зависимости пульсовой волны от времени называется соритограммой. По виду соритограммы можно измерить разность фаз между двумя точками артерии и определить величину Е и другие параметры стенок сосудов. Скорость пульсовой волны не превышает 10 м/с для нормальной кровеносной системы. Существующий пульс, который возникает в районе предсердий и распространяется по направлению капилляров. Амплитуда венозного пульса намного меньше, чем капиллярного, что обусловлено меньшей упругостью венозных сосудов. Кривая венозного пульса называется флебограммой, и так же используется для диагностики заболевшей вены. Т.о. от сердца к периферии распространяются 2 вида пульсовых волн.

2.Из артерий эластичного типа кровь поступает в сосуды мышечного типа, которые обладают гладкомышечными волокнами и, следовательно, за счёт сокращения могут изменить радиус сосудов. К таким сосудам относятся артериолы, в которых на долю

гладкомышечных волокон приходится до 60% тканей. Основным функциональным свойством артериолы является способность регулировать напряжение стенок кровеносных сосудов. За счёт этого артериолы выполняют 2 функции:

1. Поддерживают уровень кровеносного давления на определённых участках системы.
2. Перераспределяют количество крови между органами в зависимости от потребности каждого.

Обе функции за счёт сужения или расширения просвета сосудов.

3. Основной функцией капиллярных сосудов является подвод питательных веществ и воздуха к органам пищеварения и мышцам.

4. Вены предназначены для создания запаса крови в организме, и до 70% крови сосредоточено в венах.

Стенки венозных сосудов обладают высокой эластичностью.

Механизм преобразования информации в рецепторах сенсорных систем.

Понятие открытой системы включает в себя обмен организма с окружающей средой веществом, энергией и информацией. Среда по отношению к организму выступает как комплекс раздражителей.

Раздражителем называется всякий фактор определённой среды под действием которой происходит изменение свойств или состояние ткани, органа или всего организма. Такими факторами могут быть любые отклонения физических или химических параметров среды от тех значений, к которым организм приспособился. Раздражители классифицируются по модальности, т.е. по тем видам, энергия которого воспринимается системой. Различают химические, технические, тепловые, электрические, световые и другие раздражители.

Кроме того, раздражители подразделяются на адекватные и неадекватные, по отношению к данному органу или ткани. Адекватным является стимул, к воздействию которого орган приспособился в процессе эволюции. Адекватность раздражителя для данного органа или ткани проявляется в том, что пороговая интенсивность данного раздражителя значительно ниже, чем для неадекватных раздражителей. Так например ощущение света происходит при мощности: $h\nu = 10^{-18} \text{ Вт}$. Аналогичные ощущения возникают при механическом воздействии на глаз лишь при мощности равной $N = 10^{-4} \text{ Вт}$. Рецепторные аппараты подразделяются на:

1. Фоторецепторы
2. Мехорецепторы
3. Деторецепторы
4. Хеморецепторы

Например, фоторецепторы определены для восприятия света, сосредоточены в сетчатке глаза. Хеморецепторы воспринимают изменение химического состава окружающей среды, к ним относятся обоняние, вкусовые, рецепторы внутренних органов.

Механические рецепторы сосредоточены в ухе, т.е. воспринимающие гравитацию: рецепторы осязания, угловое ускорение.

Все рецепторы можно подразделить. Отросток делится на кальциевые веточки – терминалы, которые могут воспринимать действие внешних раздражителей. В этом случае они называются свободными нервными окончаниями, т.к. непосредственно воспринимают стимулы раздражителя. Свободные нервные окончания имеют более высокую чувствительность к данному раздражителю, чем тело нейрона. Однако, специализация у них мала и они являются полимодальными. Более высокая избирательная чувствительность к стимулам, присуща нервным окончаниям. Капсула является дополнительным усилителем, увеличивающим чувствительность нервного окончания за счет деформации мышц капсулы. Дальнейшим развитием специализации рецепторов связано не с созданием новых, более мощных капсул, а с развитием особых специальных

клеток, реагирующих на определенные стимулы. Существует два вида специальных рецепторных клеток. Клетки первого типа образованы нейронами, связанный с последними элементами нейронной системы с помощью центрального отростка. Специальные клетки второго типа не имеют центрального отростка и для передачи информации в ЦНС требуется синаптический контакт с нервными волокнами. Рецепторы со специальными клетками первого типа называются первично-чувствующие или нейро-сенсорными. Рецепторы второго типа – вторично чувствующие. в специальных клетках сосредоточены молекулярные механизмы восприятия раздражений, по этому их следует отличать от воспринимающих структур, обеспечивающих лучшее восприятие стимулов рецепторов. Т.о. все рецепторы подразделяются на три группы:

1. Свободные нервные окончания;
2. Инкапсулирующие нервные окончания или нервные тельца;
3. Рецепторные аппараты со специальными клетками.

Биофизические механизмы преобразования информации в рецепторах.

Независимо от устройства, внешние рецепторы совершают преобразование разделения различной модальности в нервные импульсы. Рецепторный процесс разделяется на ряд последовательных этапов:

1. Специальное взаимодействие адекватного разделителя со специальным веществом, определяющим модальность рецептора. Следствием разнообразных первичных примеров является измерение проницаемости мембраны для различных ионов.
2. Изменение мембранной электропроводимости, как следствие изменения проницаемости мембран. Возникший через мембрану ионный ток создает локальный сдвиг мембранного потенциала. Изменение разности потенциалов между цитоплазмой рецепторного элемента и межклеточной средой, приводят к возникновению рецепторного потенциала.
3. Заключается в поступлении в ЦНС информации о свойствах раздражителя, действующего на рецептор.

В свободных нервных окончаниях и в инкапсулярных свободных нервных окончаниях, а также в первично-чувствующих рецепторах, рецепторный потенциал от места возникновения, в котором находятся потенциал-зависимые каналы вызывая в них диполяризационный потенциал действия. Во вторично-чувствующих рецепторах, рецепторный потенциал не может стать раздражителем возбудимых участков мембраны, т.к. в специальных клетках нет потенциал-зависимых ионных каналов. Связь между рецепторами клетки и нервными волокнами осуществляется при помощи химического синапса, поэтому третий этап во вторично-чувствующих рецепторах протекает сложнее. В этом случае дополнительно выделяются дополнительные следующие звенья:

1. Электрически-дискриминативное распространение электрического потенциала от места его возникновения до присинаптической структуры мембраны.
2. Выделение присинаптической структуре медиаторов за счет действия рецепторного потенциала.
3. Возникновение возбуждённого постсинаптического потенциала на мембране нервного окончания, контактирующего с рецептором. Этот потенциал эдксименно распространяется с субсинаптической мембраны на возбужденные участки мембраны нервного волокна.
4. Генерация потенциала действия, бездискриминативно распространяется вдоль нервного волокна в ЦНС.

Таким образом во вторично-чувствующих рецепторах механизм восприятия раздражителей и ионные механизмы генерации нервных импульсов локализованы в

разных клетках. Во вторично-чувствующих рецепторах электрический потенциал образуется дважды, в течении одного рецепторного акта. Для удобства, первый потенциал называется рецепторным, а второй генераторным. В свободных нервных окончаниях, а также в первично-чувствующих рецепторах, рецепторный потенциал выполняет функцию генераторного. Рецепторные и генераторные потенциалы отличаются от потенциала действия. Во-первых рецепторный и генераторный потенциалы являются градуальными, т.е. их амплитуда зависит от интенсивности стимула, во-вторых рецепторный и генераторный потенциалы являются непрерывными сигналами и не прекращаются, пока действует внешний раздражитель. Генераторный потенциал, если он не исчезает, вызывает образование следующего потенциала действия и это продолжается до тех пор, пока стимул не исчезает, т.е. генераторный потенциал вызывает серию потенциалов действия. Третье отличие – рецепторный и генераторный потенциалы в отличие от потенциала действия не способны к ретрансляции и бездискриминаторному распространению. Таким образом рецепторный акт можно представить в виде последовательности следующих операций :

1. Специфическое взаимодействие раздражителя и рецептора.
2. Образование рецепторного потенциала в месте взаимодействия стимула и рецептора.
3. Генерация потенциального действия, зависящая от типа рецептора.

Кодирование информации в рецепторах.

Механические, химические, световые, тепловые и другие раздражители при помощи рецепторов преобразуются в универсальные сигналы.

Отображение одного сигнала другим называется кодированием. Рецепторы кодируют информацию о среде, т.е. преобразуют сигналы, не воспринимаемые мозгом в другие понятные мозгу.

Для рецепторов входным сигналом являются раздражители, а входным- нервные импульсы. Одним из видов кодирования является частотно-импульсная модуляция, т.е. высокочастотный сигнал модулируется низкой частотой следования импульса.

Экспериментально установлено, что сигналы от рецептора идут сериями потенциала действия, причем с увеличением амплитуды высшего воздействия увеличивается частота следования импульсов. Т.о. при непрерывном аналоговом воздействии стимула на рецептор, сигналы идущие от него в ЦНС имеют прерывистый дискретный характер.

Биофизическим механизмом ритмической активности рецепторов является рефрактерность, т.е. изменение возбудимости мембран в процессе возбуждения.

Генераторные потенциалы вызывают потенциал действия лишь в условиях нормального возбуждения. Поэтому возникновение следующего потенциала действия возможно лишь после относительно рефрактерной фазы, частота следования импульсов определяется суммарным временем 2-х фаз: абсолютного и относительного потенциала, частота следования импульса составляет 500 000 Гц.

Любой рецепторный аппарат можем рассматривать в качестве кодирующего устройства. В отличие от аналогичных технических устройств, он отличается миниатюрностью и полифункциональностью, т.е. одна и та же структура выполняет разнообразные операции кодирования.

Рецепторам присущи следующие технические функции:

1. Рецептор обладает свойствами датчика, который воспринимает и преобразует стимул определенной модульности в нервные импульсы. Рецепторы обладают высокой избирательной чувствительностью к адекватным раздражителям.
2. Рецепторы являются аналого-дискретными преобразователями.

3. При кодировании интенсивности внешнего разделителя, рецепторные аппараты работают как нелинейные устройства. В клетках происходит нелинейное преобразование информации об интенсивности стимула. Согласно закона Вебера-Фехнера ощущение возрастает пропорционально логарифму разделителя. Соотношение между интенсивностью разделителя и частота следования первых импульсов называется силовой характеристикой датчика.

$$\nu = k \ln \frac{I}{I_0}$$

4. Рецепторы служат усилителем входного сигнала. Энергия выходного сигнала, т.е. потенциала действия всегда больше, чем величина рецепторного потенциала. Усилительная функция не является основной для рецептора, однако предстает собой необходимый элемент для выполнения функции кодирования. Источником энергии для усиления сигналов является АТФ.

5. Как всякий усилитель, рецептор имеет определенную амплитудно-частотную характеристику, под которой понимают зависимость чувствительности от частотных свойств стимула. Для световых рецепторов, т.е. для зрения такая кривая носит название – кривой видности. Для слуха – это пороговый контур равный громкости.

6. Качество информации о внешних стимулах передается в ЦНС при помощи кодирования. Существует две теории, объясняющие принцип передачи информации:

1. Моченая линия
2. Паттерн

Теория моченой линии предусматривает существование в ЦНС определенных зон или областей, отвечающих за один из видов внешних разделителей. Паттерн не связывает информацию с локальной областью мозга, а кодирует ее в самих импульсах, который воспринимается любой частью мозга. Воспринимающие раздражение создает набор импульсов в определенной длительности и последовательности, зависящий от вида разделителей. Это узор или паттерн, который расшифровывается в ЦНС.

В реальной системе происходят сочетание 2-х видов передачи информации.

Элементы биофизики слуха.

В органах слуха принято выделять 3 части:

- наружное ухо
- среднее ухо
- внутреннее ухо

Слуховые рецепторы расположены во внутреннем ухе. Наружное ухо включает в себя ушную раковину и слуховой проход, т.е. представляет собой вспомогательное устройство для улучшения восприятия звука. С наружным ухом связаны свойства направленности слухового восприятия. Кроме того, ушная раковина служит резонатором с частотой 3кГц. Добротностью.

Среднее ухо отделяется от радужного, барабанной перепонкой. По среднему уху звук проводится при помощи цепочки слуховых косточек, молоточка, наковальни и стремечка. Рукоятка молоточка фиксируется на барабанной перепонке, а головка образует сустав с наковальней, который соединяется со стремечком. В отличие от наружного и среднего уха, внутреннее ухо заполнено жидкостью. Среднее ухо обеспечивает согласование акустических импедансов: воздуха и жидкости.

Согласование акустического импеданса достигается за счет 2-х обстоятельств:

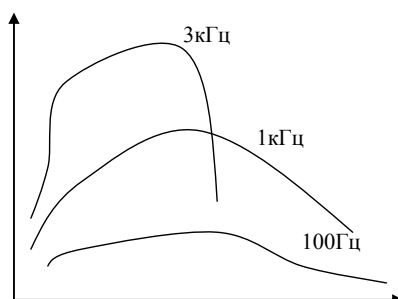
1. Поверхность барабанной перепонки в 25 раз больше площади основания стремечка. За счет разности площадей происходит усиление силы давления на жидкость внутри уха. Возникает гидравлический пресс.

2. Слуховые косточки действуют как рычаг на основании стремечка, увеличивая усиление в 90 раз.

Внутреннее ухо человека размещается в пирамидальной части височной кости, напоминает улитку. Внутри улитки имеется просвет с круглым сечением, который разделяется пополам костной спиральной пластиной. Между выступом костной стременной пластины и противоположной поверхностью просвета расположена базилярная мембрана, образованная мягкими тканями. Она дополняет костную пластину, разделяя мембрану на 2 части. Кроме него от костной пластины отходит вестибулярная мембрана и мембрана Мейслера. Она образует острый угол с базилярной мембраной и разделяет верхнюю часть улитки на 2 области. Т.о. внутри улитки существуют 3 параллельных канала: нижний канал называется барабанной лестницей, верхний- вестибулярной лестницей, посередине расположен улитковый проток. Все 3 канала заполнены жидкостью. Состав жидкости, заполняющей улитковый проток соответствует межклеточному веществу и называется эндолимфой. Вестибулярная и барабанная лестница наполнена эндолимфой, состав которой соответствует межклеточной среде. В эндолимфу погружены специальные клетки слуховых рецепторов, входящие в состав кортиева органа, который является частью базилярной мембраны. Клетки слуховых рецепторов имеют вид волосков- цилии, ориентированных перпендикулярно базилярной мембране и закрепленных на кортиевом органе. Каждая из 2-х улиток имеет по 15500 волосковых клеток, в основном это стереоцилии в 3 ряда, между ними находится киноцилин. В основе волосковых клеток, связанных с базилярной мембраной находится синапсы, связывающие ее с нервными волокнами, которые и образуют слуховой нерв. Каждая волосковая клетка связана с 10-ю нервными окончаниями, но каждое нервное волокно подходит только к одной клетке.

Биофизика органов слуха.

Под действием звука, основание стремечка совершает колебательные движения. Овальной окно расположено в верхней части вестибулярной лестницы, поэтому колебания стремечка передаются перилимфе. Среда, в которой распределяются звуковые волны во внутреннем ухе, является неоднородной. Она включает в себя связанные друг с другом пери- и эндолимфу, базилярную и вестибулярную мембрану, а так же слуховой рецептор, т.к. колебания, возникающие во внутреннем ухе когерентны, то в разных участках неоднородной среды возникают условия интерференции. Т.о. внутреннее ухо обладает свойствами нелинейности и функционируют как сложная система фильтров, в которой положение максимумов звуковых колебаний зависит от частоты волны. Амплитуда колебаний базилярной мембраны различна в разных точках.



Слуховая рецепция.

Благодаря зависимости местоположения механизма амплитуды волны на базилярной мембране от частоты звукового сигнала происходит раздражение волосковых клеток,

расположенных на участках кортева органа. Деформация базилярной мембраны приводит к искривлению волосковых клеток, которые сверху ограничены покровной мембраной. Волосковые клетки возбуждаются при деформации, изменение формы волосков приводит к изменению проницаемости мембраны и возникновению ионного тока.

Диполяризационный сдвиг мембранного потенциала называется рецепторным потенциалом волосковой клетки. Максимальная величина рецепторного потенциала не превышает 24мВ. Рецепторный потенциал декрементным способом распространяется вдоль волосковой клетки и достигает при синоптической части мембраны, высвобождает медиаторы, которые через субсиноптическую щель поступают на базилярную мембрану. Под действием медиатора в субсиноптической части базилярной мембраны возникает генераторный потенциал, распространяющийся на внесинаптическую часть мембраны и создающий потенциал действия. Т.о. по механизму преобразования слуховой рецептор является вторично чувствующим. Каждое волокно слухового нерва начинается с узко ограниченного участка портчика органа. Т.к. слуховые рецепторы в разных местах базилярной мембраны возбуждаются лишь определенными частотами, то каждое нервное волокно слухового нерва проводит импульсы лишь одной частоты. Под действием сложного колебания возбуждаются все нервные волокна, по одновременному решению происходит разложение звука на гармонический спектр, мощность звука кодируется временем активации нервных волокон, входящих в состав слухового нерва. В медицине принято сопоставлять объективные и субъективные характеристики звука. Гармоническому составу звуковых волокон соответствует тон звука, а интенсивности соответствует громкость звука. Звуковые волны представляют собой механические колебания среды, в которой чередуется сжатие и разряжение воздуха. Изменение плотности газа меняет давление. Величина звукового давления, т.е. разность между давлением в области сжатия и разряжения характеризует интенсивность волны, т.е. интенсивность пропорциональна квадрату давления и обратно пропорциональна плотности среды и скорости распределения звука.

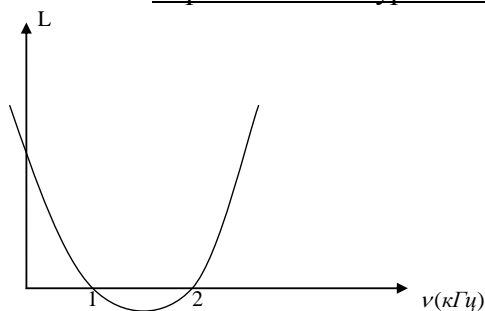
$$I = \frac{p^2}{2\rho V_{зв}}$$

С другой стороны, громкость звука определяется величиной интенсивности, воспринимаемым звуковым рецептором.

$$L = k \ln \frac{I}{I_0}$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$$

Зависимость порогового значения уровня интенсивности от частоты звуковых колебаний называется пороговым контуром или изофоном.

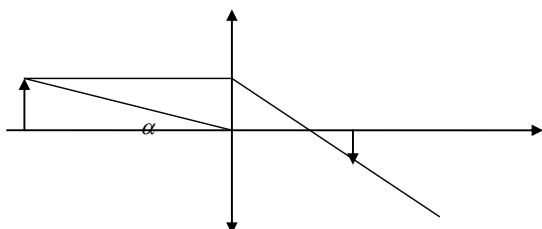


Изменение слухового порога для звуков равной громкости, но разной частоты, называется аудиометрией. Громкость звуков оценивается в [сонах]. Все звуки делятся на тоны и

шумы. Тоны имеют сложный частотный спектр, изменяющийся случайным образом. Шумы имеют сплошной скоростной спектр, в отличие от линейного спектра тонов. Примерами тонов- гласные звуки, а шумов- согласные.

Биофизика органов зрения.

Зрительная сенсорная система включает в себя фоторецепторы: палочки и колбочки, сосредоточенные в сетчатке глаза, а так же различные вспомогательные элементы системы, не участвующие в переработке зрительной информации, но способствующие световосприятию. Важнейшим элементом световосприятия является диоптрическая система глаза, который состоит из роговицы, хрусталика, камерной влаги и стекловидного тела. Преломляя свет, эти элементы обеспечивают формирование изображения на сетчатке глаза. Отрезок прямой, проходящий через геометрический центр хрусталика и роговицы, называется главной оптической осью глаза. Изображение, в области желтого пятна сетчатки, формируется за счет постоянного показателя преломления роговицы, стекловидного тела и камерной влаги и изменяющегося кривизны поверхности хрусталика. В результате на сетчатке формируется действительное уменьшенное обратное изображение предмета.



Изображение характеризуется зрительным углом- это мера разрешающей способности глаза, которая обратно пропорциональна минимальному зрительному углу, под которым крайние точки предмета не сливаются в одну точку. Острота зрения считается нормальной, если человек различает 2 точки предмета, находящиеся под углом в 1 минуту, величина изображения составляет 5 мкм. Принято различать качество полученного изображения по его рефракции.

Рефракция- это преломляющаяся или оптическая сила диоптрической системы, равная обратной величине фокусного расстояния хрусталика. Оптическая сила хрусталика изменяется в зависимости от его радиуса:

$$D = \frac{n - 1}{R}$$

Различают физическую, физиологическую и клиническую рефракцию. Физическая рефракция равна алгебраической сумме хрусталика, роговицы, камерной влаги и стекловидного тела.

$$D = \sum_{i=1}^N D_i$$

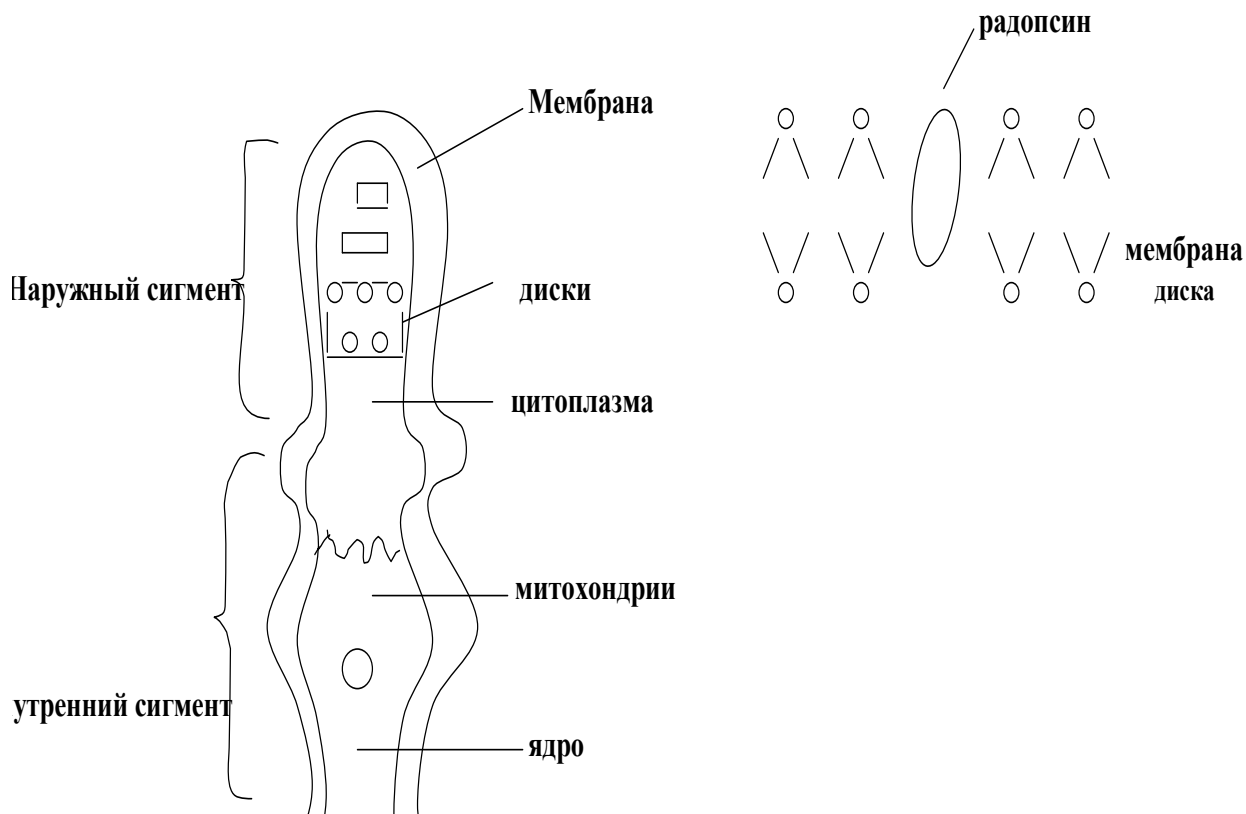
Приспособление глаза к оптическому резкому изображению предметов, находящихся на разном расстоянии от глаза, называется аккомодацией и осуществляется за счет изменения радиуса кривизны хрусталика. При помощи сокращения соответствующих мышц глаза, рефракция хрусталика изменяется: $D = 19^{-33} \text{ дптр}$

Физиологическая рефракция соответствует физической в условиях полного расслабления мышц хрусталика. Клиническая рефракция определяет степень совпадения изображения с

поверхности сетчатки в условиях аккомодации покоя, т.е. при физиологической рефракции. Несоразмерная клиническая рефракция может быть аномальной или антиотропной. В зависимости от вида рефракций возникает близорукость или дальновзоркость. Если изображение фокусируется перед сетчаткой, то формируется близорукость, за- дальновзоркость. Корректирующие линзы выбираются таким образом, чтобы изображение оказалось на сетчатке.

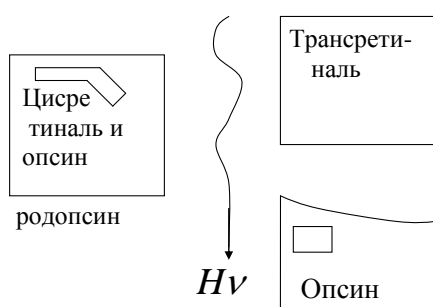
Биофизический механизм восприятия света.

Свет, сфокусированный диоптрической системой на сетчатке, возбуждает фоторецепторы. Палочки и колбочки расположены на дне сетчатки, которые прилегают к сосудистой оболочке глаза, они непосредственно контактируют с пигментным эпителием. Общее число рецепторов глаза : $1,25 \cdot 10^8$ и 10^6 колбочек. Палочки состоят из внутреннего и наружного сегмента, диаметр 2мкм, а длинна 50-60 мкм причем наружный сегмент равен 20-30 мкм. Внутри наружного сегмента находятся до 100 органеллы, диаметр которых почти совпадает с диаметром наружного сегмента, а толщина лишь 15-18 нм, поэтому эти органеллы – диски. Мембрана, образующая диски, называется фоторецепторной и обладает рядом существующих отличий по сравнению с мембранами клеток, хотя основу составляют липиды и белки. Однако. Основным белковым компонентом дисковых мембран является особый белок-родопсин, составляющий до 90% всех белков мембраны и более 40 липидов, образующих дисковую мембрану приходится на полиненасыщенные жирные кислоты, которые обеспечивают гидрофобному биомолекулярному каркасу дополнительную подвижность, 75% поверхности мембраны дисков приходится на мембраны, а 25 % на родопсин.



В каждой мембране соединяется 10^{-9} молекул родопсина, которые пронизывают мембраны диска, большей частью выступая в цитоплазму клетки наружного сегмента.

Меньшая часть молекулы находится внутри диска. Дипольные моменты молекул родопсина расположены в плоскости мембраны диска, обеспечивающие максимальное поглощение света. Кроме того, молекулам родопсина свойственно быстрое вращение вокруг собственной оси перпендикулярной плоскости мембраны. Таким образом мембрана диска имеет жидкокристаллическую природу. Под действием излучения мембраны диска быстро разрушаются, поэтому предусмотрен механизм постоянного обновления фосфолипидов. Под действием света происходит обесцвечивание родопсина и откружение фосфолипидов, которое происходит несмотря на высокую концентрацию витамина Е в цитоплазме, который является антиоксидантом. За 9 – 12 суток происходит полное обновление наружного сегмента палочек. Первичный механизм возбуждения палочек светом, связан с превращением родопсина, расположенного в мембране диска. Родопсин состоит из двух связанных между собой белков: ретиналя и опсина. Под действием света, молекула родопсина подвергается фотоизомеризации, что является единственной реакцией, которая связанная со светоощущением. В темноте родопсин находится в 11-цис форме и образует прочную связь между ретиналем и опсином. Под действием света ретиналь переходит в трансформу, разрывая связь с опсином, при этом родопсин распадается. Т.е. фотоизомеризация происходит внутри молекулы родопсина и не связана с другими реакциями. Единственным следствием реакции изомеризации является конформационная перестройка молекулы родопсина. В темноте трансформ ретиналя переходит в цисформу и молекула родопсина образуется вновь. Этот процесс – реизомеризация. Основным следствием фотоизомеризации является сдвиг потенциала, возникшего в фоторецепторе.



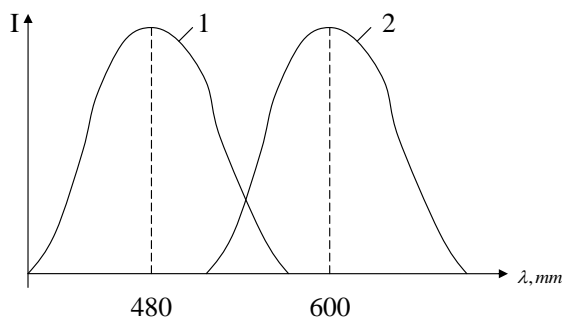
Рецепторные потенциалы распространения возбуждения по сетчатке.

Под действием кванта излучения на мембранных фоторецепторах клетки происходит сдвиг потенциалов. Передача возбуждения с мембраны диска на мембрану наружного элемента происходит с помощью внутриклеточного посредника (либо ионы Ca , либо циклический гуанинмонофосфат Na). Следствие конформационной перестройки молекул родопсина в мембране диска изменяется соединение посредника цитоплазмы наружного сегмента, что приводит к закрытию 100-300 натриевых каналов внутри палочки. Т.е. проводимость мембраны по сравнению с проводимостью в отсутствии света смещается в сторону гиперполяризации. Этот процесс зависит от количества фотонов, попадающих в молекулы родопсина, т.е. количество фотозависимых каналов Na , заключается при изменении соединения посредника, определяется нетральностью падающего света. Этот процесс приводит к уменьшению мембранной проводимости и гиперполяризационному сдвигу на мембранах как палочек, так и колбочек. Возникающий на наружном сегменте потенциал называется рецепторным. Потенциал покоя фоторецепторной клетки генерируется в темноте на мембране внутреннего диска. По своей природе это обычный клеточный потенциал, с величиной -20, -40 мВ. В системе генерации электрических потенциалов на мембране, палочки наружного сегмента выполняют роль шунта, т.е. сопротивления с электропроводимостью, которое регулируется светом. За счет

фотозависимости натриевых каналов наружного сегмента, поверхность этой части мембраны уменьшается. Чем меньше ток ионов натрия через мембрану палочки, тем больше потенциал этой части мембраны. Величина рецепторного потенциала зависит не только от интенсивности падающего света, но и от его чистоты. Наибольший рецепторный потенциал создают фотоны зеленого цвета. Внутри колбочек существует три типа фоторецепторов, причем максимальный рецепторный потенциал для каждого типа рецепторов приходится на свою длину волны: зеленого, желтого и синего цвета. Возникший снаружи сегмент рецепторный потенциал направляется с затуханием вдоль мембраны палочки в зону синаптической передачи между рецептором и биопотенциальным нейроном. Достигнув синаптической зоны рецепторный потенциал изменяет скорость движения медиаторов. Природа медиаторов синаптической передачи между фоторецептором и биопотенциальным нейроном не выяснена полностью, предположительно это глутамат натрия. При повышении мембранного потенциала, скорость движения медиатора уменьшается. В следствие этого в постсинаптической мембране биопотенциального нейрона также возникает гиперполяризационный сдвиг. возникающий сдвиг потенциала распространяется вдоль мембраны биопотенциального нейрона с затуханием следующей синаптической передачи, которая связывает биопотенциальный нейрон с нервными волокнами, является частью глазного нерва. Медиатор, поступающий от биопотенциального нейрона к ганглиозной клетке вызывает её дегиперполяризацию, т.е. изменяет знак потенциала и возбуждает потенциал действия нервной клетки. Зрительный нерв, образованный ганглиозными клетками включает 10^6 волокон. По ним к зрительному центру мозга направляются сигналы от фоторецепторов. Одно нервное волокно ганглиозной клетки собирает информацию от множества рецепторных клеток, образуя рецептивное поле, которое для палочек значительно больше, чем для колбочек. Каждая колбочка связана только с одной ганглиозной клеткой. Это является причиной более высокой разряженной способности колбочек по отношению к палочкам. В сетчатке глаза ганглиозные клетки образуют многочисленные обратные связи, сложные синаптические передачи, которые образуют нейронную сеть. В состав сети входят нервные клетки, являющиеся частью головного мозга, вышедшего на периферию.

Особенности рецепторных клеток

Существует два вида рецепторных клеток: палочки и колбочки, которые несут разную функциональную нагрузку. В отличие от палочек, колбочки, во-первых, обеспечивают предельную остроту зрения, которая определяется особенностью рецептивных полей колбочек. Это связано с тем, что сигналы от двух соседних колбочек воспринимаются как различные сигналы, т.к. проходят через разные нервные волокна. Сигнал от двух соединённых палочек воспринимается как один сигнал, т.к. с каждым нервным волокном связано до 10-и палочек; во-вторых, колбочки менее чувствительны к свету и обеспечивают световосприятие лишь при освещенности более 30 люксов. Это фотоничное зрение. В темноте функционируют только палочки, особенно при освещенности менее 0.1 люксов. Это скототическое зрение. В-третьих, время восстановления световой чувствительности, т.е. адаптации света у колбочек 7сек, у палочек 40 сек, т.е. колбочки обладают быстрой реакцией. В-четвертых, в колбочках, в отличие от палочек, дисках находится не родопсин, а другие зрительные пигменты. У человека и обезьян обнаружены три типа белков. например, при восприятии красного цвета в колбочку входит иодопсин. Таким образом колбочки обеспечивают цветное зрение, в отличие от монохроматического зрения палочек. фотометрия – это раздел геометрической оптики, рассматривающий энергетические характеристики светового излучения, в процессе его восприятия. Основной характеристикой зрения является кривая видимости и чувствительность зрения. Кривая видимости человеческого глаза:



Первая кривая описывает скотоническое зрение и полностью совпадает с кривой поглощения родопсина, максимальное восприятие приходится на зеленый цвет. Вторая кривая описывает фотоническое зрение и обеспечивает спектральное поглощение колбочек. чувствительность фоторецепторов определяется по порогу ощущения света. Существуют физические и светотехнические параметры излучения. К физическим относятся: поток излучения и энергетическая сила света. Энергетическая яркость – это сила света, излученного с единичной поверхности тела. Освещенность – это поток излучения, падающий на единичную поверхность тела.

$$I = \frac{\Phi}{\lambda}$$

$$E = \frac{\Phi}{\rho}$$

К светотехническим параметрам относятся : абсолютная видимость равная отношению светового потока, проходящего через диоптрическую систему к тому потоку, который вызывает ощущение данного потока. Наиболее ярким ощущается свет с длиной волны равной 554 Нм.

Информация.

Информация содержится в сообщениях, есть мера того количества неопределенности, которая ликвидируется после получения данного сообщения. Неопределенность того либо иного результата, необходимость разрешения неопределенности ситуации определяются верностью события. В теории вероятностей различают априорную и апостиорную вероятность. Априорной называется та вероятность события, которая определена до получения сообщения, а апостиорной – та вероятность события, которая усиливается после получения сообщения. Если соединение сообщения было известно заранее, то такое сообщение неинформировано, т.е. вероятность события не изменяется. Нулевой, также считается избыточное и повторная информация, а также вся информация, не имеющая отношения к данному событию. Ценность информации может быть отрицательной, если это дезинформация. Количественная оценка информации определяется отклонением апостиорной вероятности к априорной.

$$I = \log_2 \frac{p_2}{p_1}$$

Если сообщение исчерпывает неопределенность ситуации, то вероятность наступившего события становится равной 1.

Полная информация о событии

$$I = -\log_2 p_1$$

В качестве сообщений можно рассматривать любую функцию вероятности, которая описывает характер процессов, относясь к данному процессу. Для оценки эффективности каналов передачи информации вводится понятие информационной энтропии, т.е. среднее количество информации, приходится на одно сообщение. Наибольшее значение энтропии имеет сообщение, которое передается по каналам связи за наибольшее время. В этом случае информация энтропии характеризует пропускную способность канала. Важнейшее значение для биологических объектов имеет количественная оценка генетического кода. В основе информационной системы живого организма лежат структурные молекулы ДНК, состоящие из 4-х нуклеотидов: гуанин, аденин, цитозин, тимин. Аминокислоты, из которых состоят белки образуют различные сочетания из 20 наименований кислот. Отдельные белки могут создавать до 10000 аминокислотных остатков. Место каждой аминокислоты в структуре белка определяется тритичным кодом, который заложен в структуре ДНК. 4-е нуклеотида входит в комбинацию по 3-и, в состав белка и каждой комбинации соответствует определенная кислота, входящая в белок. К особенностям генетического кода можно отнести в следующие свойства:

1. Кодированной единицей генетического кода является специфическая комбинация нуклеотидов, которая определяет структуру белка
2. Универсальность генетического кода, который одинаков для всех органических биосистем
3. Вырожденность генетического кода, которая проявляется в том, что одна и та же кислота находится более чем одним триплетом. Но для одной и той же кислоты, 2 первых нуклеотида должны повторяться.

Информация записанная на ДНК символьным кодом передается в 20-ти символьный аминокислотный код первичной структуры белка. Количество информации соединяется в белковой молекуле, состоящих из 200 аминокислотных остатков можно рассчитать по формуле:

$$I = \log_2 (Na)^N = 800 \text{ бит}$$

Регулирование биопроцессов.

Информация и регулирование представляют собой 2 стороны единого процесса управления. Зоны управления в технике, биологии, социологии одинаковы. В биологических системах прием, переработка, хранение и передача информации обеспечивает управление функции организма. Проблемы управления изучает кибернетика.

Ампер в 1931 г.. Кибернетика – наука об управлении государством.

Винер 1948 г. Кибернетика в управлении животными и машинами.

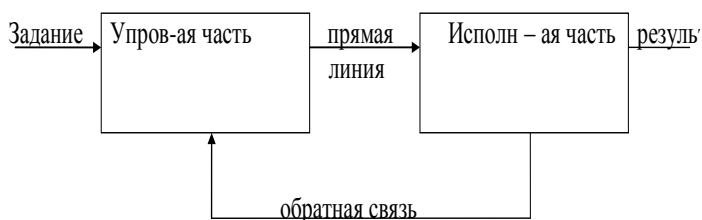
Область исследования кибернетики – общие зоны организации, управления, переработки информации ложных систем. Кибернетика изучает те связи, при помощи которых осуществляется управление, а также организацию упорядоченных систем и само применение управления. Основной теоретический аппарат кибернетики – теория информации, теория сложения и фильтрации помех, теория обнаружения и прогнозирования поведения управляемых систем, т.е. автоматов и сложных систем. Предмет кибернетики - кибернетическая система – упорядоченная совокупность взаимодействующих объектов, объединенных определенных функций и способных обеспечиваться информацией. Элементы кибернетической системы – объекты различной физической природы (как неживые, так и живые).

Кибернетическая система - абстрактное понятие, не отраженная всех физических, технических или физиологических особенностей объекта. Человек, как кибернетическая система, рассматривается только с точки зрения взаимосвязи и управления отдельных

органов, без анатомических деталей. Кибернетические системы состоят из подсистем, между которыми существуют связи. Подсистемы состоят из более простых кибернетических систем. Эти подсистемы также могут содержать более простые подсистемы. Каждому уровню иерархии соответствует определенный уровень организации. Живой организм также является иерархической системой. Биофизика разделяется на уровни организации живого организма:

1. молекулярный
2. клеточный
3. организованный
4. сложных систем

Для биологических систем следует отметить их изменчивость, поскольку каждый организм обеспечивает индивидуальные отличия. Т.о. человек является сложной кибернетической системой, состоящей из большого числа элементов и требующий уравнивания на всех иерархических условиях. Уравнение – это принятие изменения состояния или режимов функционирования системы в соответствии с поставленной перед ней задачей. Всякая система содержит управляющую и исполняющую части. По линейной прямой связи, управляющая часть посылает в соответствии с заданием в исполняющую часть команды. По линии обработанной связи, в управляемую часть поступают сведения о выполнении команд от исполнительской части.

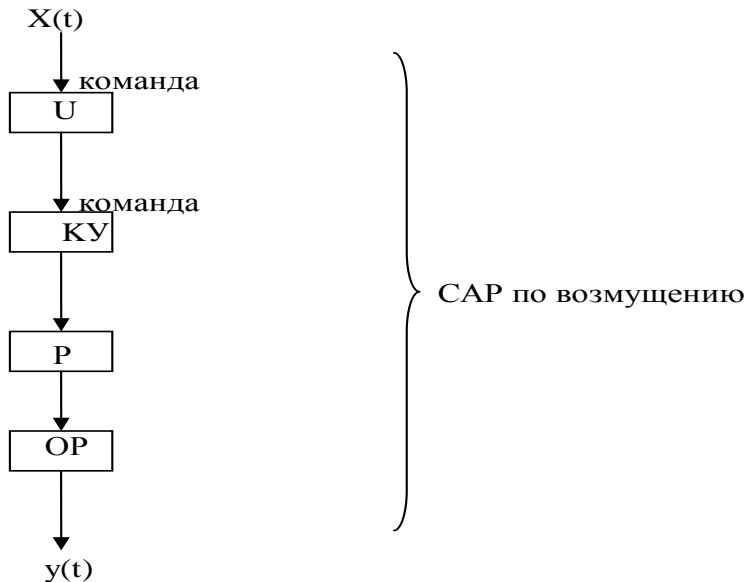


Биологические объекты относятся к саморегуляционным системам. Саморегуляционные системы обладают способностью поддерживать своё состояние или режим функционирования на определенном заданном уровне при любых внешних воздействиях. Живой организм с точки зрения кибернетики является совокупностью устройств и процессов их связавших, которые выполняют определённую жизненную функцию. Подобную функцию может выполнить лишь вся система в целом, поэтому система автоматического регулирования может выполнить определение операции, связавшие все элементы системы. Теория автоматического регулирования выделяет два основных способа регулирования:

1. по возмущению;
2. по отклонению.

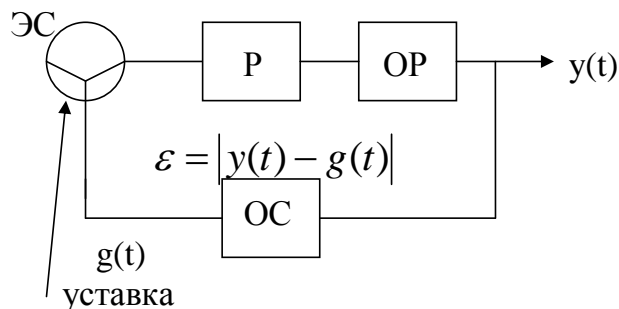
Основной элемент обеих систем – объект регулирования и регулятор. Объект регулирования – это элемент системы, в которой протекает процесс, подлежащий регулированию. На выходе объекта регулирования находится датчик, при помощи которого можно зарегистрировать выходную характеристику процесса, т.е. функцию от времени контролирующей величины. Для управления объектом, регуляционная система включает в себя регулятор, в котором формируется команда, т.е. сигнал, изменяющий ход процесса в объекте регуляции. В системе автоматизированного регулирования по возмущению сигнала к изменению режима работы регулятора служит регуляция на возмущающий фактор. Такими факторами могут быть изменения в окружающей среде, способные нарушить исходный режим работы объекта регуляции или регулятора. Для предупреждения таких нарушений в системе автономного регулирования по возмущению

должен присутствовать измеритель возмущенно фактора и корректирующее устройство. Под действием внешнего возмещения, в измерителе возникает сигнал, отключающий корректирующее устройство, которое выбирает команду для включения регулятора. Действие регулятора обеспечивает функционирование регуляции в оптимольном режиме, т.е. объект регулирования по этой схеме приспособляется к изменяющимся условиям окружающей среды.



В системе автоматизированного регулирования по отклонению, непосредственным сигналом к изменению режима работы регулятора служат изменения выходной характеристики объекта регулирования (ОР). Как только выходная характеристика изменяется под действием внешнего возмущенного фактора или внутренних характеристик системы, то происходит коррекция работы ОР с помощью регулятора (Р), за счет сигналов по цепи обратной связи. Система автоматического регулирования по отклонению дополнительно включает в себя элемент сравнения (ЭС). САР по отклонению:

САР по отклонению



Приобретенная выходная характеристика подает по цепи обратной связи (ОС) на элемент сравнения который имеет два входа. На первый вход подается выходная характеристика ОР, на второй – эталонная функция или установка $g(t)$. В тех устройствах установка имеет электрическую природу в виде импульсов тока или напряжения. В ложных системах установка формируется с помощью компрессора. При совпадении выходной характеристики и установки сигнала с ЭС на Р не поступает. При отклонении от эталонной функций включается Р, возвращающий ОР прежний режим работы. Различают положительную и отрицательную ОС. Положительная ОС приводит к

выработке команд, ведущих к увеличению отклонения системы от первоначального состояния. На пример, всасывание желудком продуктов пищеварения вызывает дополнительное выделения желудочного сока. В тоже самое время патология в работе органов развивается с участием положительной ОС. Например, ослабление сердечной деятельности может привести к закупорке сосудов, следовательно, еще большее ослабление сердечной деятельности. Отрицательное ОС вызывает команды, стремящиеся уменьшить отклонения в системе. Регулирование по отклонению осуществляется с использованием отрицательной ОС. Например, при перегреве организма усиливается потоотделение и учащается дыхание, следовательно, увеличение теплоотдачи и уменьшение температуры тела. Для работы организма в среде с большим потенциалом возмущенных факторов система автоматического регулирования по возмущению не пригодно, т.к. каждый возмущённый фактор должен иметь свою систему регулирования. Такая система не может реагировать на новые возмущенные факторы, для которых нет измерителей. Это является основным недостатком. САР по отклонению более универсальной, т.к. обеспечивает регулирование при отклонении выходной характеристики от установки независимо от причин отклонения. Однако, основным недостатком такой системы является регулирование вслед за нарушением режима работы ОР, что создает угрозу разрушение системы. Более перспективной является система регуляции предвосхищением возможного отклонения на основании прогнозирования предстоящих событий. Эта система называется ФОРПОСТной. В зависимости от характере уставки система автоматического регулирования подразделяются на 3 основные группы:

1. Система стабилизации или гомеостаза для которой величина установки построена и не изменяется со временем.
2. Система программного управления, в которой уставка изменяется по определённому закону.
3. Система следящего управления, в которой вставка может изменяться случайным образом, то есть реагировать на случайное возмущение.

В основе управления организмом, в процессе его изменяющимся внешним усилителям окружающей среды находится рефлекс. Структурная основа рефлекса-рефлекторная дуга, состоящая из трёх основных звеньев:

1. Афферентное.
2. Центральное.
3. Эфферентное.

Афферентное звено включает в себя рецепторы, воспринимающие адекватное раздражение и нервные волокна, проводящие нервные импульсы. Это звено обеспечивает приём информации и передачу её в ЦНС при помощи кодирования импульса.

Центральное звено обеспечивает приём сигналов, хранение информации и формирование команд исполнительному органу. В центральное звено входят все нейроны ЦНС, которые участвуют в существовании данного рефлекса, а также сигналы, которые связывают нейроны в единую сеть. Эфферентное звено – включает в себя эфферентные нервные волокна и исполнительный орган – эффектор. Важнейший элемент рефлекса – ОС. Она проявляется в том, что однократное стимулирование рецепторов не оканчивается однократным действием эффектора. Работа эффектора возбуждает новые рефлекторные реакции, которые протекают последовательно, вплоть до точного достижение цели. Часть цели рефлекса, по которой сигнала поступают в ЦНС по эффектору, называются ОС с точкой зрения.

Молекулярная биофизика

Виды взаимодействия электронно-конформационное взаимодействие .

Основы живого организма составляют макромолекулы, к которым относятся белки и нуклеиновая кислота. Размер молекул и их строение обуславливают сложное сочетание статистических и динамических закономерностей в их поведении. Т.о. тепловое движение атомов и атомных групп в полимерных молекулах, повороты и вращения их относительно отдельных связей приводит повышению числа степенной свободы макромолекул, поэтому каждую молекулу можно рассматривать статистическую систему элементов. С другой стороны макромолекула имеет определенное число стационарных динамических состояний, которые возникают за счет ближнего и дальнего порядка взаимодействующих элементов. Своеобразие биологических молекул заключается в сочетании статистических и динамических закономерностей. Все процессы происходящие с макромолекулами сопровождаются превращением энергии из одного состояния в другое. Внутри молекул происходит миграция элементов, либо переход их в возбужденное состояния. В основе функционирования живых организмов лежат ЭКВ, которое проявляется на молекулярном уровне. Изменение формы молекул и состояния биополимеров сопровождается большинством процессов клеточного метаболизма и является отражением внутри молекулярной перестройки атомов или атомных групп. Основной задачей М.Б. является изучение природы и механизмов взаимодействия электронных и конформационных переходов, составляющих основу функционирования живых систем. Все взаимодействия между атомами макромолекулами можно разделить на 2 части:

1. Взаимодействия ближнего порядка возникших между атомами соседних звеньев полимерной цепи;
2. Дальнее взаимодействие или объектные эффекты возникающие в результате случайного сближения атомных групп при сгибании полимерной цепи.

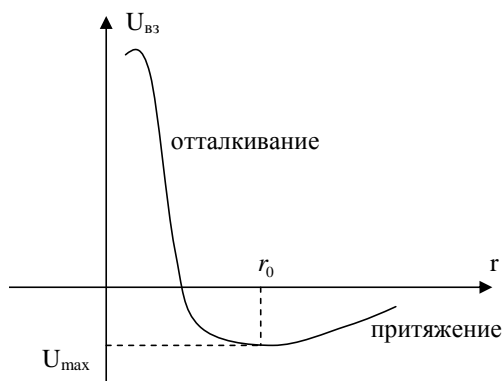
Наличие взаимодействия только ближнего порядка приводит к возникновению клубка, не имеющего внутренней структуры. Наличие объемных взаимодействий приводит к возникновению глобул, т.е. сложных упакованных образований с постоянной концентрацией звеньев внутри глобулы. Процесс обратного перехода от глобулы к клубку происходит при увеличении температуры и соответствует фазовому переходу второго рода. Этот процесс называется денатурацией белка. Первичная структура полимерной цепи определяется химическими или валентными взаимодействиями внутри молекул и устанавливает последовательность и состав цепи молекулы. Вторичная структура макромолекул определяется объемными взаимодействиями. Устойчивая белковая структура возникает при наличии минимальной энергии взаимодействия и является действия различных по физической природе сил. Между составляющими элементами белковых молекул существуют несколько различных по природе сил:

1. Взаимодействие Вандер-Вальса – имеет электромагнитную природу не связанную с взаимодействием между диполями принадлежащими соседним молекулам. Наиболее распространено дискретное взаимодействие, которое возникает между не полярными молекулами т.е. не имеющие собственных дипольных моментов. Природа дискретного взаимодействия имеет квантовый характер и возникает за счет мгновенного изменения плотности электрических облаков, приводящих к появлению мгновенных диполей. Энергия взаимодействия Вандер-Вальса быстро убывает с ростом между молекулами:

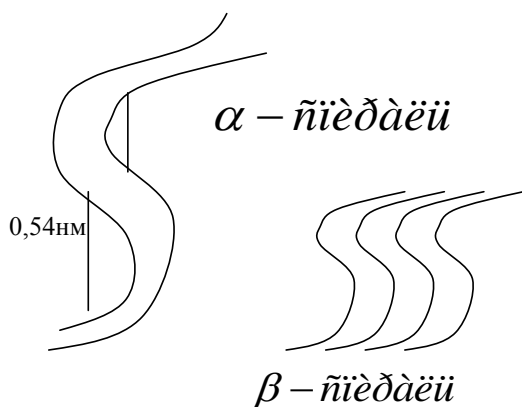
$$U_{\text{вдВ}} \approx \frac{1}{r^6}$$

К.т. внутри белковых молекул существует электростатическое взаимодействие для полярных молекул. В общем случае с учетом сил отталкивания энергия взаимодействия имеет вид:

$$U_{\text{вдВ}} = -\frac{A}{r^6} + \frac{B}{r^{12}}$$

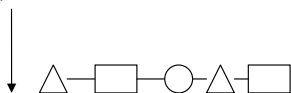


На ряду с силами Вандер-Вальса большая роль в стабилизации биологических структур играет водородные связи, между молекулами водорода входящие в пептидные группы. Сложная структура полимерной цепи создает дополнительные виды энергии связанные с внутренним вращением и поворотов звеньев цепи других относительно других. Энергия такого типа связана с изменением расстояния и взаимного положения атомных групп, составляющие белковые молекулы. Поворот пептидных групп, составляющие происходит относительно одиночной связи. При близком расположении валентно не связанные атомы отталкиваются и возникающий потенциал создает стационарное положение атомных групп друг относительно друга. Энергия вращения групп вокруг единичных связей даст основной вклад в обратную конформационную энергию полимерной цепи. К макромолекулам относятся жиры, углеводы (сахар), белки. Наиболее разнообразными являются белковые молекулы. Белковые молекулы выполняют различные функции, в зависимости от их строения и формы. Мембранные белки, в основном, представлены в виде клубков и лишь 30% в виде спиральных образований. Мембранные белки выполняют различные функции: ферментативные, транспортные, рецепторные, каналобразные, воротные, структурные. Различные типы белковых структур составляют белковую иерархию, которая отражает стадии сворачивания белка и первичной полипептидной цепи. На первичной стадии сворачивания белковой молекулы образуются α – спирали или β – пластины.

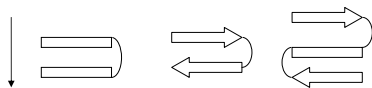


Дальнейшее сворачивание молекулы белка происходит через образования структурных сегментов, элементарных комплексов, доменов из которых и состоит глобула.

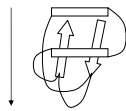
1) Последовательность аминокислот



2) Структурные сегменты



3) Домены



4) Глобулы

Структуру, обладающую необходимыми динамическими свойствами можно создать при условии выполнения нескольких принципов:

1. Для возникновения структуры необходимо что бы длины межатомных связей и валентной структуры во всех пептидных группах были одинаковыми;
2. Полипептидная цепь должна быть насыщена водородными связями.
3. Конформационное состояние всех звеньев должны быть эквивалентны.

При выполнении этих принципов возможно образование α -спирали из двух полипептидных цепей, должна иметь следующие параметры: высота витка 0,54нм, число аминокислотных оснований в одном витке $\leq 3,6$. Отдельные ветки спирали связанные между собой водородными связями. β -структура представляет с собой складчатое образование, включение несколько параллельных цепей, связанных между собой водородными связями. Согласно классификации β и α структуры принадлежит вторичной структуре белка. К вторичной структуре относятся и наборы взаимодействующих между собой регуляторных конформационных групп, состоящих из α -спиралей β -структур. Участки молекул стабилизируются в результате действия водородных связей, а так же гидрофобных воздействий между участками цепи. Установлено сопоставление между вторичной структурой белка и его аминокислотной последовательностью. На основе этих сопоставлений были сформулированы начальные принципы строения белка и правило сворачивания пептидной цепи во вторичную третичную структуру. Общая топография белковой глобулы определяется тем, что полярные группы расположены в основном на поверхности глобулы, а не полярные – внутри и образуют гидрофобное ядро. На поверхности основных элементов вторичной структуры α -спирали и β -пластины находятся целые гидрофобные области, внутримолекулярные водородные связи между пептидными границами максимально насыщены и стабилизируют глобулу. Различные типы белковых структур составляют структурную иерархию, которая отражает и последовательность стадий сворачивания от первичной структуры до глобулы. На самых ранних стадиях сворачивания в развёрнутой цепи образуются α и β участки вторичной структуры за счёт локальных взаимодействий с другими участками цепи с возникновением комплексов и доменов. Самозборка структуры белка носит направленный кооперативный характер она протекает через определённое число промежуточных стадий, а не за счёт перебора всех возможных вариантов укладки до достижения минимального по энергетическому состоянию. Для статистической укладки глобулы потребовалось бы времени несоизмерно больше, чем реальное сворачивание глобулы. Выгодные низкоэнергетическое состояние появляются сразу на ранних этапах сворачивания 2-3 кислотных остатков. При этом среднее и дальнейшее взаимодействие не разрушают этих области, а лишь их стабилизируют. Т.е. вместо того, что бы пытаться сразу найти минимальную по энергетической конфигурации всей цепи, находят в начале низкое энергетическое состояние дипептидов. Низко энергетические формы трипептидов представляет с собой комбинации низкоэнергетических форм смежных дипептидов, сохранением низкоэнергетических форм. Известно, что белки выполняющие одинаковые функции в различных организмов могут отличаться по своей первичной последовательности. Однако, третичная структура одинакова. Способностью формировать α и β структуры с неперенными гидрофобными поверхностями, обладают лишь некоторые аминокислотные остатки, т.е. для получения плотной упаковки белка нет

необходимости абсолютно однозначно задавать его первичную последовательность, т.к. функциональные свойства белка определяются сравнительно не большими числами активных групп. В активном центре белка имеются 5-6 остатков, которые нельзя заменить без нарушения функциональных свойств, поэтому колебания не меняющих остатков в активном центре производятся совершенно однозначно при обязательном сохранении линии общих топографических черт глобулы. В основе образования иерархических структур белка лежат особенности распределения по поверхности структур аминокислотных остатков трех типов:

1. Гидрофобные боковые группы часть белковой молекулы в которой нет связи.
2. Длинные полярные боковые цепи.
3. Короткие полярные боковые цепи.

Реально осуществляется только такое распределения групп при котором на поверхности α - спирали и β - структура возникают сплошные гидрофобные области. Тогда возникают вторичные структуры связанные с возможностью таких групп образовать связи между спиралями. Возникающие прочные связи между гидрофобными группами приводит к образованию плотного гидрофобного ядра глобулы. Ядро глобулы экранируется от водных соединений длинными гидрофобными группами. Т.о. процесс самоорганизации включает 3 связи:

1. Формирование зародышей вторичной структуры за счет соединений гидрофобных групп;
2. Возникновение ядра глобулы за счет гидрофобных взаимодействий;
3. Возникновение третичной структуры белка, стабилизирующий всеми видами объемных взаимодействий.

Возникновение структуры глобулы основано на поэтапной оценке взаимодействия валентно не связанных атомов между собой или с растворителем. Устанавливается связь между валентно-несвязанными атомами, соответствует минимальной свободной энергии системы. Поэтому возникновение белковых структур проходит через последовательность локальных минимумов свободной энергии. Каждая последовательная установленная структура белка должна иметь минимум свободной энергии, меньшей, по сравнению с предыдущей структурой. Механизм изменения конформационного состояния белков связан с обменом энергии внутри молекулы и происходит не одновременно, а состоит из отдельных этапов, при которых происходит передача энергии от одной группы атомов к другой.

Методы исследований в биофизике.

Применение физических методов при исследовании биологических объектов требует учета их спецификации. Основным отличительным признаком биологических систем от других явлений природы является то, что в их построение участвует информация, возникшая в результате эволюции и заключенная в геноме. Это информация проявляется в структуре белковых молекул и является причиной термодинамических неравновесных процессов, протекающих на всех уровнях системы. При возникновении макромолекул, клеток, или целых организмов существует два пути учета информации: прямой и косвенный. **Прямой** – заключается в построении живого организма по заданной программы. Этот путь реально используется в природе в виде развития биологической системы от зародыша до взрослого организма. При этом на каждой стадии химические и физические процессы протекают в соответствии с законом природы, но с учетом информации заложенной в генах. При теоретическом исследовании этого пути используется методы теории самоорганизации систем и математическое моделирование. Второй путь заключается в исследовании отдельных элементов биосистемы, анализа их структуры и свойств; с последующим воссозданием системы в целом. Этот метод широко

используется в современной медицине и биофизике, для его осуществления привлекаются наиболее современные физические методы исследования. При определении структуры белковых молекул, структура ферментов наиболее широко используются методы структурного анализа. Так как в основе организма лежат углеводородные молекулы, то для их исследования требуются чрезвычайно тонкие физические методы.

1. Масспектроскопия - изучение качественного состава молекул по траектории движения заряженных частиц в заряженном поле.

2. Метод изотопного обмена дает возможность регистрировать малые концентрации неравновесных элементов белка, нарушения в структуре белка, позволяют выделять отдельные функциональные группы генетического кода. Другие методы исследования направлены на установление особенностей связей между молекулами внутри органических молекул. Для этого используется оптическая и рентгеновая спектроскопия. Особое значение косвенные методы имеют при изучении конформационных переходов молекул с помощью предложенных методов, существует возможность определения числа стадий и энергетических состояний при конформационных переходах. Основным методом изучения строения клеток и механизма действия мембран является электронная микроскопия, с помощью которой исследовать строение, структуру клетки, а так же взаимодействие между элементами клетки. Моделирование используется на всех уровнях изучения живых систем от молекулярной биофизики, биофизики мембран, биофизики клетки и органов и заканчивая биофизикой систем. Разнообразие предметов в живом организме настолько велико, что невозможно получить полное и детальное представление о поведении столь сложной системы. Поэтому разнообразные новые методы лечения диагностики принимают метод моделирования, т.е. заменяют некоторый объект, явление, процесс, в сочетании его сложности, моделью, т.е. объектом, подобным естественному, осознанному упрощению. Практически в каждом разделе биофизики существуют различные модели. Например, модель формирования потенциала действия, модель скользящей нити при описании сокращения мышцы, модель кровеносной системы и т.д.

Основные этапы моделирования.

При изучении сложных систем, исследованный объект может быть заменен другим, более простым, но сохраняющим основное более существенное для данного исследования свойства. Такой объект- модель. Моделирование- это метод, при котором производится замена изучения некоторого сложного объекта исследованием его модели. Основные этапы моделирования:

1. Первичные сбор информации; для построения моделирования необходимо получить как можно больше информации о разнообразных характеристиках данного объекта, о его свойствах, закономерностях поведения при различных внешних условиях;
2. Постановка задач; формируется цель исследования, основные его задачи, определяется какие новые значения может получить исследователь в результате моделирования;
3. Обоснование основных упрощений; выделяется существенное для данных целей характеристики, а так же те факторы, которыми можно пренебречь;
4. Создание модели и ее исследование;
5. Проверка адекватности модели реальному объекту, указание границ применимости модели.

В биофизике, биологии, медицине принимают физические, биологические, математические модели, так же используется аналоговое моделирование. Физическая модель имеет физическую природу, часто такую же, что и исследуемого объекта, например, течение крови по сосудам моделируется течением жидкости по трубкам.

Физические устройства, вероятно, заменяющие органы живого организма, так же можно отнести к моделям. Направление в технике, использование физической модели для технических решений называется бионикой. Биологические модели представляют собой биологические объекты, удобные для экспериментальных исследований, а из которых изучаются свойства, закономерности биофизических пространств в реальных сложных объектах. Математические модели представляют собой описание процессов в реальных объектах с помощью математических уравнений, как правило дифференциальных. Для реализации математических моделей широко используются компьютеры. При помощи системы моделей можно легко изменить масштаб времени, ускорить и замедлить течение пространств, рассмотреть процессы в стационарном режиме, либо изменить конфигурацию зоны патологии. Изменяя коэффициенты или вводя новые параметры в дифференциальные уравнения можно учитывать различные свойства моделирующего объекта или теоретически создать объекты с новыми свойствами. С помощью компьютера можно решать сложные уравнения и прогнозировать поведение системы: течение заболевания, эффективность лечения, действие лекарственных препаратов. Если процессы в моделировании имеют другую физическую природу, чем у оригинала, но описывается таким же математическим аппаратом, то такая модель называется аналоговой. Основные требования, которым должна отвечать модель:

1. адекватность- соответствие модели объекту. Это значит, что модель должна с заданной степенью точности воспринимать закономерности изучающих явлений. Анализ адекватности должен производиться как при выборе модели, так и при сравнении результатов моделирования с реальным поведением объекта.
2. Должны быть устранены границы применимости модели, т.е. четко заданы условия, при которых выбранная модель адекватна исследуемому объекту.

Результатом моделирования является получение новых данных о протекании изучаемого процесса и его свойствах. Результаты моделирования не дают исчерпывающих сведений об изучаемом объекте, но углубляют знания о его свойствах. В медико-биологических исследованиях применяют «метод черного ящика», т.е. изучая только входящие и выходящие параметры исследуемого объекта без учета его внутренней структуры и внутренних процессов. В этом случае изучается зависимость выходных параметров от входных, т.е. получают передаточную информацию. В основе процессов обмена клетки со средой и внутренних параметров жизнедеятельности лежит сложная сеть различных реакций. В биологической системе каждый элемент находится в постоянном и неразрывном взаимодействии друг с другом, что в основном определяет природу динамического поведения структур, механизмы их саморегуляции и управления. В результате динамических процессов изменяется концентрация различных веществ, численность отдельных клеток, биомасса организма, могут измениться и другие параметры. Например, мембранный потенциал клетки. Изменение переменных величин в каждый момент времени могут быть описаны соответствующими дифференциальными уравнениями. Рассмотрим пример замкнутой популяции клеток, в которой одновременно происходят процессы размножения и гибели клеток. Пусть в некоторый момент времени концентрация клеток в среде равна N , тогда скорость изменения числа клеток

определяется
$$\frac{dN}{dt} = v_{\text{размножения}} - v_{\text{гибели}}$$

Решая д.у. можно ответить на вопрос как меняется численность клеток, возможно ли в такой системе установление стационарного состояния, когда численность клеток не меняется. В простом случае скорость размножения, скорость гибели будет

$$v_{\text{размножения}} = k_1 N$$

пропорционально числу клеток:

$$v_{\text{гибели}} = k_2 N$$

$$\frac{dN}{dt} = kN$$

$$k = k_1 - k_2$$

И д.у. будет иметь вид $\ln N = kt + C$

$$t = 0$$

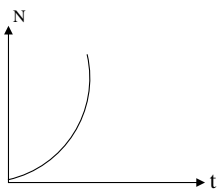
$$N = N_0$$

$$\ln N_0 = C$$

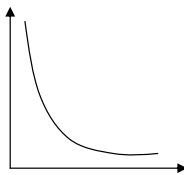
$$N = N_0 e^{kt}$$

В зависимости соотношения констант скорости гибели и скорости размножения судьба этой замкнутой популяции будет различна:

1. Если $k_1 > k_2, k > 0, t \rightarrow \infty, N \rightarrow \infty$



2. Если $k_1 < k_2, k < 0, N = N_0 e^{-|k|t}$



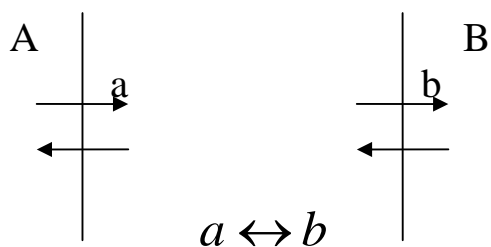
3. Если $k_1 = k_2, k = 0, N = N_0 e^0 = N_0 = const$

В отличие от обычной химической кинематики, биологическая кинематика характеризуется следующими особенностями:

1. В качестве переменных рассматривается не только концентрация веществ, но и другие величины.
2. Перемещения изменяется не только во времени, но и в пространстве,
3. Биологическая система гетерогенна, т.е. в разных точках системы условия взаимодействия между величинами могут быть различными,
4. Существует специальный механизм саморегуляции действующие по принципу обратные связи.

Обычно в качестве модели открытой системы используется гидродинамическая модель сосуда, в который одновременно вливается и вытекает жидкость. Уровень жидкости в сосуде зависит от соотношения скоростей притока и оттока жидкости. При равенстве этих скоростей, уровень жидкости постоянен, т.е. возникает стационарное состояние.

Изменение скорости притока и оттока приводит к выходу системы из стационарного состояния. Используем такую систему для описания существования клетки, в которой происходит обмен веществ с окружающей средой. Пусть происходит поступление в клетку вещества из резервуара с постоянной концентрацией.



a и b переменные концентрации вещества внутри системы, A и B постоянные концентрации этих же веществ во внешних резервуарах. Кроме того, существуют константы скоростей процессов поступления вещества в клетку k_1 и оттока продукции реакции продукта k_3 , а так же константы скоростей взаимодействия. Уравнения кинетики для этой системы

можно представить в виде д.у.
$$\begin{cases} \frac{da}{dt} = f_1(a, b) \\ \frac{db}{dt} = f_2(a, b) \end{cases}$$

Поскольку в стационарном состоянии a и b принимают постоянные значения, то левая часть этого уравнения обращается в 0.

$$\begin{cases} 0 = f_1(a, b) \\ 0 = f_2(a, b) \end{cases}$$

Система алгебраических уравнений, решением которой будут стационарное значение концентраций веществ \bar{a} и \bar{b} . Эти величины не зависят от начальных условий и определяются только величинами констант и концентрацией вещества во внешних резервуарах. Это означает, что в каком бы начальном состоянии не находилась бы система, она устанавливается на один стационарный режим. Т.о. анализ кинематической задачи сводится не к точному решению д.у., а к поиску тех стационарных режимов, в которых система может находиться. Т.о. качественный анализ модели заключается в получении характеристик динамического поведения системы, т.е. в определении устойчивых и неустойчивых стационарных состояний, переходов между ними, выявление колебательных режимов. Важной характеристикой решения является установленная стационарная точка. Рассматривая малые отклонения параметров стационарного состояния и разлагая в ряд Тейлора функцию по данному параметру можно ввести условие устойчивости.

$$\frac{da}{dt} = f(a) \quad \xi = a - \bar{a}$$

$$f(a) = f(\bar{a}) + f'_a(\bar{a})\xi + \frac{1}{2} f''_a(\bar{a})\xi^2$$

$$\frac{a\varepsilon}{dt} f'(\bar{a})\xi$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 e$$

Если произведение правой части уравнения стационарной точки отрицательно, то отклонение от стационарного состояния $\rightarrow 0$

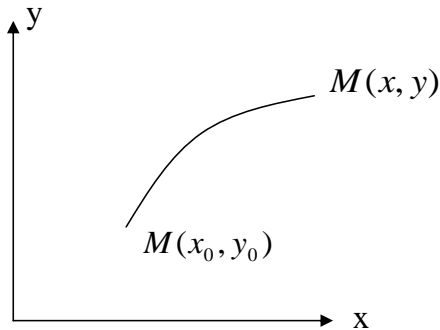
$$1) f'(\bar{a}) < 0 \quad e^{-kt} \rightarrow 0 \quad t \rightarrow \infty, \varepsilon \rightarrow 0$$

Если произведение положительно, то данное состояние является неустойчивым при длительном отклонении от стационарного состояния стпнет ∞ но большем. Т.о. знак произведений правой части д.у. в стационарной точке указывает на характер установленного стационарного состояния. Т.о. важное свойство системы можно выявить изучая свойство правых частей д.у., не прибегая к их точному аналитическому решению. Однако такой подход возможен при исследовании моделей, содержащие не большое

число переменных, отражающих наиболее важное динамическое свойство. Кроме того, редукция числа уравнений основана на принципе «узкого шеста» или принципа разделение всех переменных во всех системах на быстрые и медленные». Медленные процессы можно считать постоянными и число уравнений в этом случае сокращается т.о. производится редукция только тех уравнений которые оказывают воздействие на переменные в данный момент времени. Современная практика математического моделирования показывает, что наиболее содержимыми являются модели, использующие как правило, два уравнения. Т.е. пользуясь редукцией системы уравнения исходную модель можно свести к виду:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = P(x, y) \\ \frac{dy}{dt} = Q(x, y) \end{cases}$$

Для такой системы используются конечные методы исследования системы д.у. Одним из методов исследования системы Д.У - метод фазовых плоскостей для системы с двумя переменными эта плоскость ху. Такая плоскость является фазовой, а точка - изображения. В каждый момент времени каждая точка будет двигаться в соответствии системы Д.у.



Совокупность этих точек образует фазовую траекторию. Наиболее важным является характер фазовой траектории вблизи стационарной точки. Согласно определению стационарного состояния в особой точки правой части уравнения равны 0. Для нахождения особой точки, необходимо построить на фазовой плоскости кривые $p(x,y)=0$ и $Q(x,y)=0$, точка пересекающая эти кривые и будет особой точкой, а ее координаты определяют стационарное значение переменных. Важной характеристикой системы являются устойчивость стационарных состояний. Для получения решения этой задачей необходимо задать небольшое отклонение от переменных для стационарных состояний и подставить их в Д.У; разложить в ряд Тейлора каждую из функций получен для малого параметра:

$$x - \bar{x} = \xi$$

$$y - \bar{y} = \eta$$

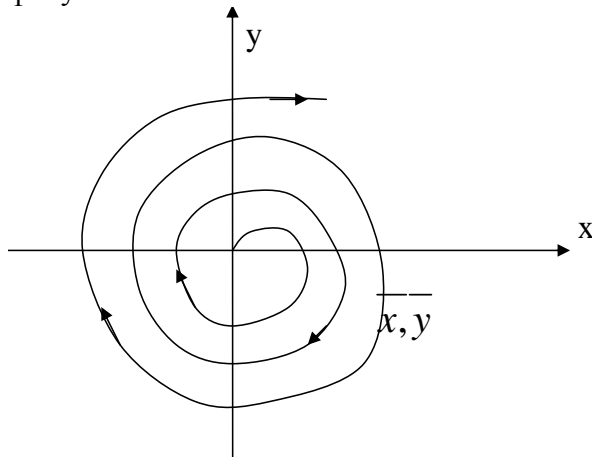
$$\begin{cases} \frac{d(\bar{x} + \xi)}{dt} = p(\bar{x} + \xi, \bar{y} + \eta) \\ \frac{d(\bar{y} + \eta)}{dt} = Q(\bar{x} + \xi, \bar{y} + \eta) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{d\xi}{dt} = a\xi + b\eta \\ \frac{d\eta}{dt} = c\xi + d\eta \end{cases}$$

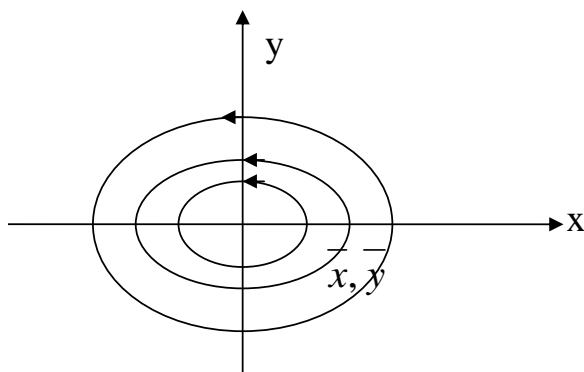
для определения характера устойчивости, необходимо одновременно учитывать поведение во время отклонений по обоим переменным. Однако, эти отклонения изменяются со временем по разным законам. И следовательно, в окрестностях с собой точках фазные траектории будут изменяться в зависимости от характера изменения обеих переменных. Решение системы уравнений будет в виде $e^{\lambda t}$.

$$\begin{cases} \xi = ae^{\lambda_1 t} + be^{\lambda_2 t} \\ \eta = ce^{\lambda_3 t} + de^{\lambda_4 t} \end{cases}$$

показатели $e^{\lambda t}$ будут определяться из характерного уравнения. В зависимости от знака и величины покрытия $e^{\lambda t}$ поведение переменных вблизи окрестности особой точки будут разными. В случае если действительные части покрывающей $e^{\lambda t}$ положительны, то амплитуда колебаний со временем нарастает и особая точка имеет вид неустраненного фокуса.



В случае если Re части покрывающей $e^{\lambda t}$ равны нулю, то сами покрытия являются числами, которые не проходят через особую точку. Небольшие возмущения переводят в систему с одной эксцентрической траектории на другую, при этом изменяется амплитуда колебаний. В этом случае особая точка - центр.



Первые пять типов особых точек описывают соотношения равновесия, не меняющиеся при изменении правой части уравнения в случае "центра" небольшие изменения правых частей D, U легко нарушают условия равновесия, тем самым изменяя сам тип устойчивости, приводя к появлению в системе других особых точек. Первичное возмущение системы возникает в неустойчивых моделях за счет случайных процессов, нарастает по амплитуде и ограничивается за счет нескольких процессов. В итоге система может переходить в установленное стационарное состояние. Сам процесс перехода из одного установленного состояния в другое в результате неустойчивости первого состояния называется бифуркацией. Процесс бифуркации лежит в основе

самоорганизации биологических систем, т.е самопроизвольного возникновения установленных структур. Условия необходимые для возникновения самоорганизации систем:

1. Система должна быть открытой
 2. Динамическое уравнение, описывающее процессы в системе, должны быть не линейным.
 3. Отклонение от установленного состояния должно превышать критическое значение.
 4. Микроскопические процессы в системе происходят самосогласованно, т.е коллективно.
- Наука изучающая процессы саморегуляции, т.е механизмы описывающих возникновения и распространения структур в однородной системе с диффузией, либо с другими процессами релаксации. Примерами самоорганизации является реакция Жопотинского - Белоусова в химии.

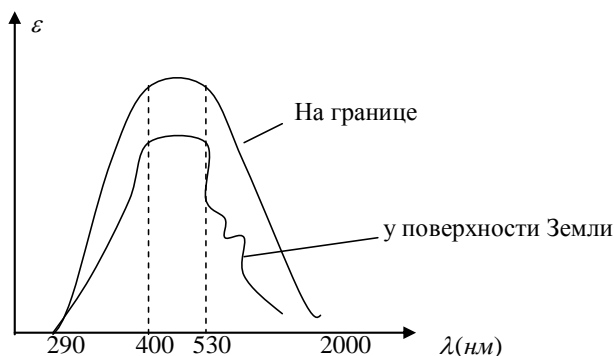
Собственные поля организма.

Вокруг любого живого организма существуют физические поля, определяемые процессами, протекающими внутри организма. Современные физические методы позволяют фиксировать собственные поля человека и получать информацию о внутренних процессах в организме. Вокруг человека существует электромагнитное, акустическое, гравитационное поле, а также поток элементарных частиц. Электромагнитное излучение подразделяют на низкочастотное до 1000 Гц, сверхвысокочастотное до 10^9 Гц, ИК излучения до 10^{14} Гц, видимое значение до 10^{15} Гц. Акустическое излучение подразделяется на низкочастотное от 0,1 - 1000 Гц, УВ 10^5 Гц. Акустические волны практически не входят за пределы организма, что связано с явлениями полного внутреннего отражения от внутренней поверхности тела. Использование внешних акустических волн является колебания ротовой полости языка, голосовых связок, зубов, приводящих к возникновению звуковых сигналов. Низкочастотные электромагнитные колебания создаются энергетической активностью сердца (1 Гц), мозга (10 Гц), кишечника (10^4 Гц). ИК излучения определяются температурой человеческого тела и имеет максимальное значения длины волны порядка 10 микрон. Оптическое значение излучения человеческого тела имеет максимум зеленой части спектра 254 нм - это максимум поглощения кожным покровом внешнего излучения и совпадает со спектральной линией поглощения ДНК. Это изменение не является тепловым.

Человек и физическое поле окружающей среды.

Человек существует при постоянном воздействии на него физических полей: гравитационных и магнитных полей земли. Совершенство этих полей представляет собой сферу обитания, т.е средние параметры внешних полей, в которых существует человек и другая живая природа достаточно стабильны и в результате эволюции живые существа к ним приспособились. Существенным фактором сферы обитания являются потоки излучения, поступающих на землю из межзвездного и галактического пространства. Совокупность электромагнитных волн от 1000 м до 10^{12} м, распространяются во вселенной в том числе и в условиях Земли можно представить в виде шкалы электромагнитных волн. Шкала электромагнитного излучения состоит из радиоволн с длиной волны $3 \cdot 10^6$ м, видимого $0,3 - 0,76 \cdot 10^{-6}$ м, естественная граница гамма излучения 10^{-14} м. Прилегающий к видимой части спектра является ИК излучения с длиной волны больше чем у видимой части спектра и УФ излучения с длиной волны меньше чем у видимой части спектра, а так же рентгеновское излучение с длиной волны меньше чем УФ излучения. Основным инстинктом естественного природного фона, радиоволн на Земле является атмосферные энергетические явления: грозы, шаровые молнии а также

радиоизоляция солнца и звезд. Основным естественным инстинктом излучения в ИК, видимом и УФ диапазоне является Солнцем, а в рентгеновском и гамма диапазонах - межзвездное галактическое явление: взрыв сверх новых звезд, квазаров, пульсаров и т.д. Электромагнитные волны идущие от солнца, человек ощущает в виде солнечного тепла - это ИК диапазон видимого света и УФ диапазона света воспринимается как пигментация кожи или загар. Рентгеновское и гамма излучения человек непосредственно не ощущает. Плотность потока энергии электромагнитного излучения на границе атмосферы составляет 1350 Вт/м^2 .



Максимальная энергия Солнца приходится на длину волны равное 470 нм. На поверхности Земли на длину волны равное 555 нм. Уф излучения короче 290 нм поглощается озоновым слоем около верхней группы атмосферы, а часть ИК излучения - водяным паром. Без сферы земли развивается в условиях относительного пространства солнечной радиации, поэтому изменения энергии падающей на Землю, определяющее соотношение атмосферы может отрицательно влиять на условия существования жизни. Наряду с естественными объектами излучения существует и другие природные источники. Можно выделить два подхода, объясняющие появление электромагнитных волн:

1. Описывается классической электродинамикой, на основе теории Максвелла.
2. Использует законы квантовой механики.

Оба подхода достаточно полно описывают возникновение электромагнитных волн в различных диапазонах.

Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом.

При прохождении электромагнитных волн в слой вещества интерферентность волны уменьшается. Общий закон интерферентности волны сформулировал Бугер:

$$I = I_m e^{-\mu x}$$

В общем виде ослабление определяется поглощением и рассеиванием энергии электромагнитных волн. Величина поглощения зависит от природы вещества и длины падающей волны. К радиоактивному относятся самые длинные электромагнитные волны с длиной волны до 1 метра, подразделяются на длинные, средние, короткие и ультра короткие диапазоны. Радиоволны взаимодействуют с биологическими структурами теряет часть энергии переменного электрического поля, превращающуюся в теплоту за счет генерацию токов проводимости в электролитах, а так же за счет поляризации диэлектриков. Особенности распространения электромагнитных волны живых тканей:

1. Сильная зависимость электрических свойств тканей, т.е диэлектрической проницаемости и удельной электропроводности от частоты радиоволн.
2. С ростом частоты, длина волны электромагнитных колебаний становится соизмеримой с размерами тела, поэтому изменяется длина волны поглощения тканями тела.

$$\lambda = \frac{C}{\nu \sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{C}{\nu n} = \frac{\lambda_0}{n}$$

3. На высоких и сверхвысоких частотах высокой проводимости ткани, энергия электромагнитной волны превращается в тепло и волны быстро затухают и оказываются в узком слое вблизи поверхности, т.е. уменьшение мощности в е-раз происходит на участке 1,3 см. Для человека, находящегося в пространственном поле интенсивность радио волн до 0.1 Вт/м(2) считается безопасным. В зонах, где интенсивность достигает 100 Вт/м(2) пребывание человека запрещено. ИК, видимое УФ излучение могут вызвать фотобиологические процессы живых организмах. Видимый свет вызывает в растениях реакцию фотосинтеза. При действии дальнего УФ излучения с энергии больше 12 ЭВ может происходить образование свободных радикалов, ароматических и серосодержащих белков и перимедических оснований нуклеиновой кислоты. ИК и видимые волны воздействуют на тепло и видимые рецепторы. Действие ИК на излучения на организм, связано с тепловым эффектом в поверхностных тканях, УФ излучения проникают в ткани на глубину 1 мм. Поглощение УФ-излучения приводит к появлению загара. Выделяют 3 зоны действия УФ излучения на организм:

1. Зона А - антираhitная 400-315 нм приводят к синтезу витамина Д.
2. Зона Б, длина волны равна 315-280 нм - возникает загар, могут быть ожоги.
3. Зона С, длина волны равно 280 - 200 нм - бактерицидная зона.

УФ излучения с длиной волны менее 200 нм вызовет рак, мутации, гибель организма. Рентгеновское и гамма излучения обладают высокой энергией что определяет, специфическое взаимодействие с атомами вещества, которые приводят к ионизации атомов. Рентгеновское и гама излучение могут вызвать фотоэффект, а при больших энергиях и Комптоновский эффект. Образуется вторичное излучение при Комптоновском эффекте, Они лежат в более длинноволновом диапазоне, что связано с передачей энергии кванта излучения электронному атому. При взаимодействии гамма фотонов, могут образоваться античастицы. При взаимодействии фотонов большей энергии с веществом, возникает разрушение связи между атомами и нарушением нормальной работы клетки. Наличию вышней проникающей способности рентгеновского излучения, позволяет использовать его для определения патологии внутренних органов.