

ПЬЕЗОСИНТЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ (ПЬЕЗОБИОСИНТЕЗ)



Авторы открытия:

- ✗ Бойко В.В.
- ✗ Замятин П.Н.
- ✗ Жуков В.И.
- ✗ Щапов П.Ф.
- ✗ Невзоров В.П.
- ✗ Климова Е.М.

- ✘ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ОБНАРУЖЕНО И ТЕОРЕТИЧЕСКИ
ОБОСНОВАНО НЕИЗВЕСТНОЕ РАНЕЕ ЯВЛЕНИЕ
ПЬЕЗОСИНТЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В БИОЛОГИЧЕСКИХ
ТКАНЯХ (ПЬЕЗОБИОСИНТЕЗ)

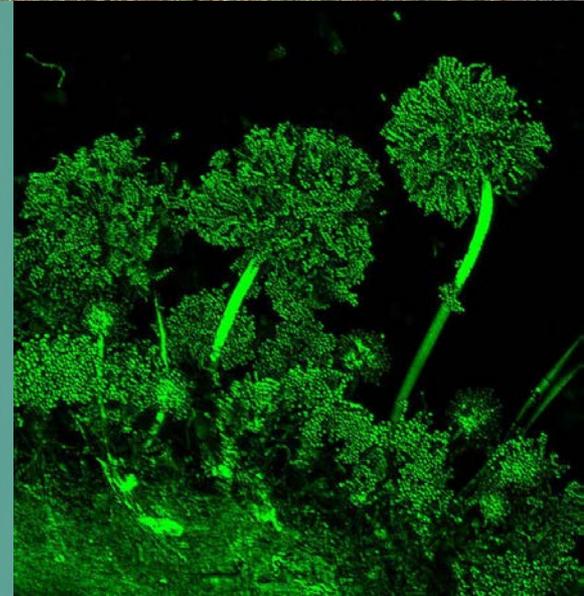
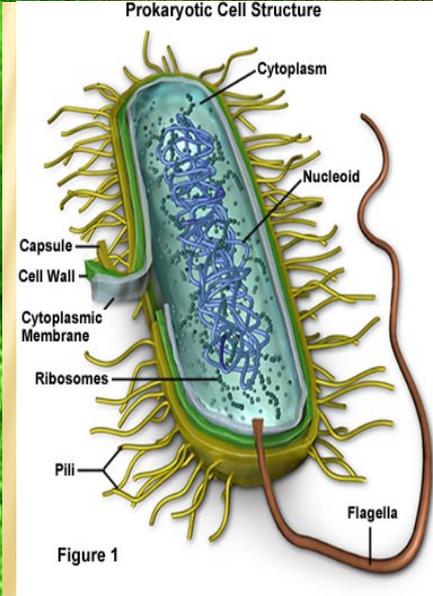
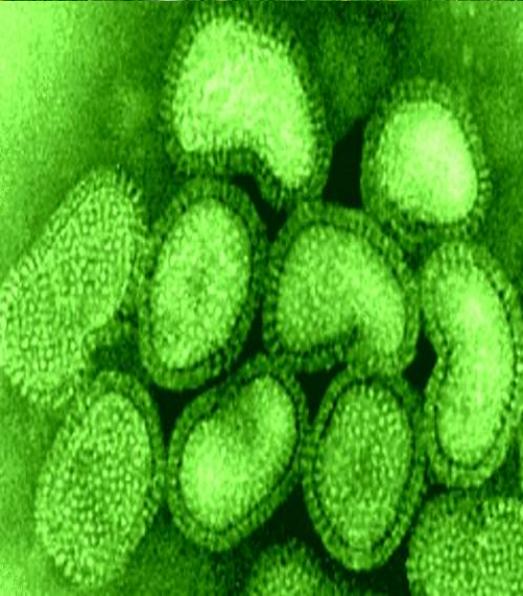
закрывающийся в

синтезе органических веществ в объектах биологического происхождения под воздействием пьезоэлектричества, возникающего в жидкокристаллических структурах клеток, преимущественно, биологических мембранах при их механических деформациях.

- ✘ Международная академия авторов научных открытий и изобретений на основании результатов научной экспертизы заявки на открытие № А-577 от 9 июня 2012г. зарегистрировало научное открытие **ДИПЛОМ № 454 «ЯВЛЕНИЕ ПЬЕЗОБИОСИНТЕЗА В БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ».**

✦ Мир биологических объектов живой природы представлен огромным количеством разнообразных растений, животных, вирусов, прокариотов, простейших и грибов.

(Жегунов Г.Ф. «Законы биологии простейших и грибов» (природа жизни). – Харьков: Консум. – 2006 – 304с.)



-
- ✘ Все живые организмы для поддержания упорядоченности своих систем и их функционирования используют энергию.
 - ✘ Энергия качественно отражает состояние биологических тел, определяет их движение в пространстве и времени, изменения структуры при взаимодействиях с окружающей средой и собственных преобразованиях.
 - ✘ Энергия – мера различных форм движения «живой» материи, возможность совершать работу или производить изменения в материи и пространстве.

-
- ✘ Любое физическое явление или химическая реакция может быть выполнена только с затратами энергии, которая разделяется на тепловую, световую, электрическую, механическую и химическую.
 - ✘ В процессе жизнедеятельности, сопровождающейся определенными физико-химическими процессами, различные формы энергии могут превращаться друг в друга, однако суммарная энергия сохраняется неизменной.
 - ✘ Считается общепринятым, что наиболее приемлемой для живых организмов является энергия химических связей, так как ее легко «запасать», «транспортировать» и превращать из одной формы в другую при возникающей необходимости.

При разрыве химических связей атомов органических молекул «выделяется» энергия («теряются» протоны и электроны), которая трансформируется и запасается в трех формах:

1. В виде протонного потенциала ($\Delta\mu H^+$) на внутренних мембранах митохондрий, хлоропластах или мезосомах – выростах мембран бактерий (такая форма потенциальной энергии используется для выполнения определенной работы – например, вращения жгутиков или колебаниях ресничек у одноклеточных организмов).
2. В виде натриевого потенциала ($\Delta\mu Na^+$) на плазматических мембранах клеток как одноклеточных, так и многоклеточных организмов (такая форма потенциальной энергии используется для выполнения работы по переносу различных необходимых клетке молекул – аминокислот, ионов, моносахаридов).
3. В виде макроэргических связей АТФ (это основная форма потенциальной энергии для выполнения любого вида работы).

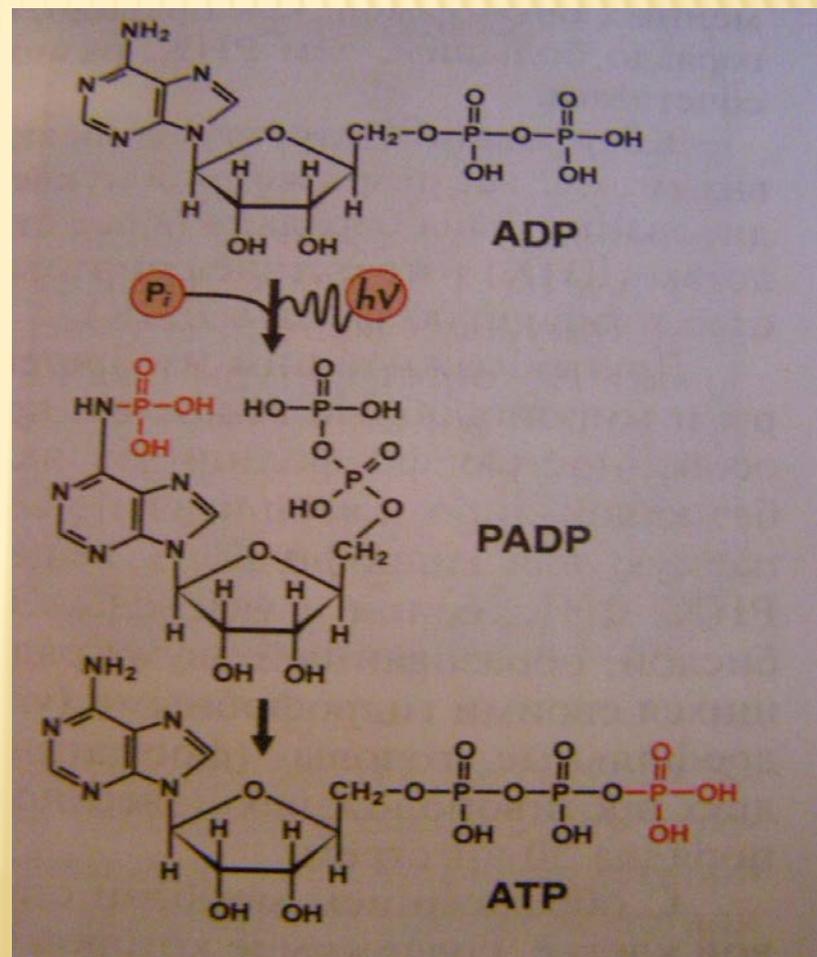
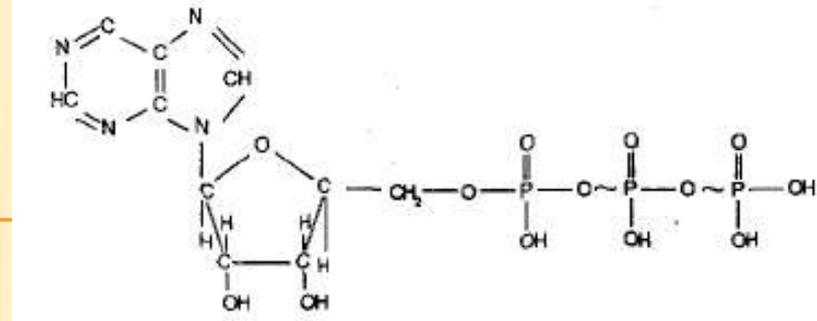
ВСЕ ФОРМЫ ГЕНЕРИРУЕМОЙ ЭНЕРГИИ В КЛЕТКАХ МОГУТ ПРЕВРАЩАТЬСЯ ОДНА В ДРУГУЮ.

Появление молекул АТФ, аккумулирующих в фосфордиэфирных связях химическую энергию, явилось важнейшим шагом эволюции.

До этого живыми организмами в большей мере использовалась энергия теплового движения молекул и энергия электрохимических градиентов Na^+ и H^+ на биологических мембранах.

Использование АТФ в жизнеобеспечении клеток и организмов имело ряд преимуществ:

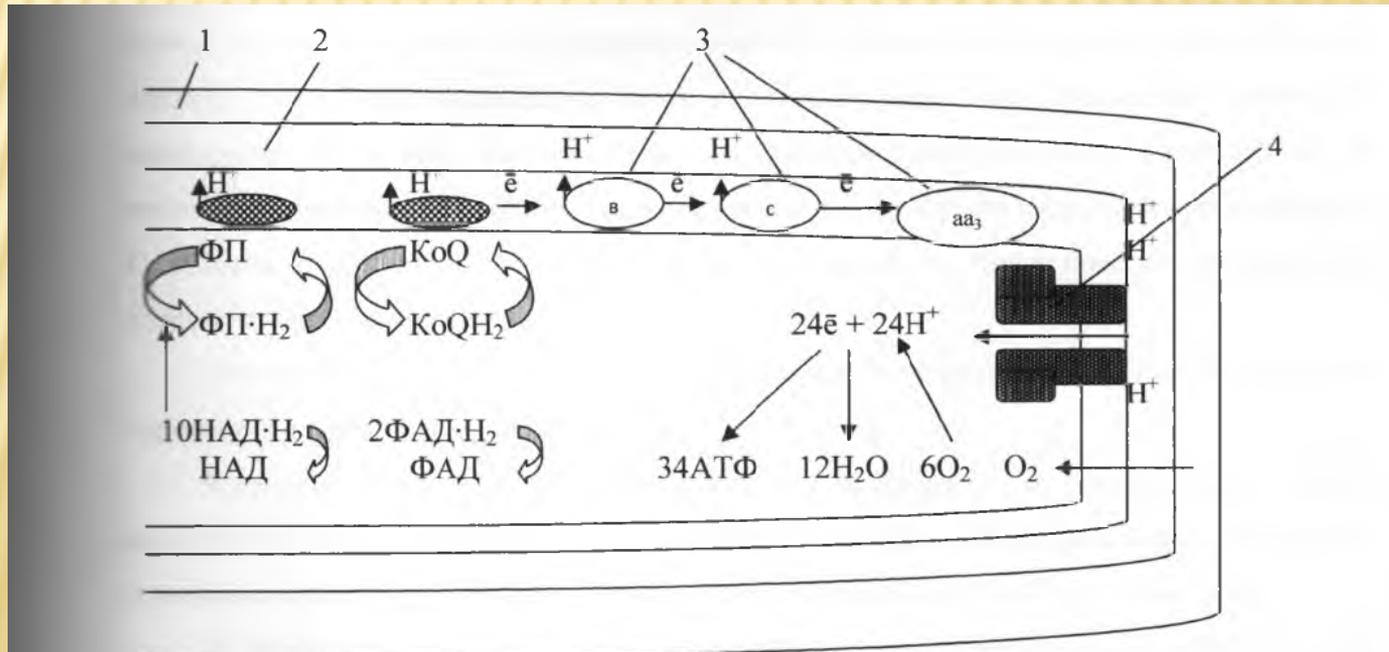
- точная «дозировка» ее для конкретного акта действия;
- экономичность использования;
- возможность использования энергии в любых микрообъемах за счет мобильности АТФ и ее малых размеров;
- относительная легкость ферментативного высвобождения энергии.



*В.П. Скулачев, А.В. Богачев, Ф.О. Каспаринский ;
Мембранная биоэнергетика. – 2010. – 367 с.*

На начальных этапах эволюции молекулы АТФ в небольших количествах образовывались из АДФ и неорганического фосфора в малоэффективных процессах гликолиза и аналогичных ему процессах ферментации.

- ✘ Недостаток запасенной энергии сдерживал прогресс морфологического функционального совершенствования живых организмов, их выживание, размножение и распространение
- ✘ Более эффективный механизм производства АТФ в больших количествах получил свое развитие с появлением специальных «машин-ферментов» – АТФ-синтетаз.
- ✘ Схема образования АТФ-синтетаз



-
- ✘ По-видимому, эти структуры изначально появились у фотосинтезирующих организмов на внутренних мембранах хлоропластов как механизм использования электрохимического градиента протонов при фотосинтезе.
 - ✘ Во всех последующих эволюционных линиях организмов, вероятно, вследствие симбиоза «митохондрий подобных» бактерий – одноклеточных эукариот, электрический потенциал мембран создавался за счет окислительных процессов и использовался при получении Н – АТФ-синтетаз.
 - ✘ Появление у этих организмов способностей к окислительному фосфорилированию за счет водородного генератора АТФ-Н- и АТФ-синтетаз (сочетание ферментативного механизма массивированного преобразования энергии и массового производства АТФ) обеспечило дальнейший прогресс живых клеток к развитию и распространению в окружающей среде.

- ✘ В 1962 г. Гильбертом Лингом была предложена теория ассоциации-индукции - первая физико-химическая теория, объясняющая жизнь на молекулярном и электронном уровнях.
- ✘ Связывает воедино три основных компонента живых клеток: белки, воду и ионы.
- ✘ Указывает на индукцию (вызванные изменения электронной плотности в молекулах) как на основной механизм, координирующий и регулирующий свойства функциональных групп белка и различные клеточные функции.
- ✘ Клетка или протоплазма в состоянии покоя характеризуется высоким запасом свободной энергии и низкой энтропией.
- ✘ При переходе клетки в активное состояние, энергия высвобождается и расходуется на выполнение различных видов биологической работы, гидрофильные коллоиды впитывают адсорбированную воду, изменяя ее объем клетки и давление в ней за счет набухания.
- ✘ В качестве генерального адсорбента воды предполагается молекула АТФ.

Главные противоречия теории натриевых насосов (Г. Линг, 1962)

1. Минимальная потребность в энергии гипотетического натриевого насоса в мышце лягушки в 15-30 раз превышает максимальное количество энергии, которое клетка может выработать, что противоречит основному закону физики – закону сохранения энергии.
2. Натриевый насос (открытие Т.К. Скоу, 1997 г. Удостоено Нобелевской премии по химии) – только один из множества насосов, обеспечивающих жизнедеятельность клетки, существование которых было теоретически обосновано.
3. Неполный список таких насосов насчитывает 18, в том числе «насосные ансамбли-станции» и насосы для сахаров и свободных аминокислот без учета насосов органелл клетки.
4. Одним только натриевым насосом саркоплазматического ретикулума поперечнополосатых мышечных волокон, площадь мембраны которого огромна, потребовалось бы в 50 раз больше энергии, чем всем насосам на поверхности клетки, хотя клетка не в состоянии обеспечить энергией работу даже одного насоса поверхностной мембраны.
5. В экспериментах по определению минимальной энергии, необходимой для работы натриевого насоса с использованием гликолитических и дыхательных ядов получены убедительные доказательства явного несоответствия энергообеспечения такого механизма только за счет фосфорсодержащих веществ, образующегося путем аэробного фосфорилирования и анаэробного гликолиза.

Величины стандартных энергий гидролиза некоторых фосфорилированных соединений

	ΔG° ккал	Потенциал ($-\Delta G^{\circ} \cdot 10^{-3}$, где ΔG° – стандартная свободная энергия при pH=7)
Фосфоэнолпируват	-14,8	14,8
- фосфоглицерофосфат	-11,8	11,8
Фосфокреатин	-10,3	10,3
Ацетилфосфат	-10,1	10,1
Фосфоаргинин	-7,7	7,7
АТФ	-7,3	7,3
Глюкозо-1-фосфат	-5,0	5,0
Фруктозо-6-фосфат	-3,8	3,8
Глюкозо-6-фосфат	-3,3	3,3
Глицерол-1-фосфат	-2,2	2,2
По отношению к переносу фосфатных групп		

За год до того как Скоу представил теорию натриевого насоса, Подольский и Моралес показали явное преувеличение значимости макроэргических связей.

Показано, что так называемая «высокоэнергетическая фосфатная связь» не аккумулирует в себе много энергии, более того измерив теплоту гидролиза АТФ и сделав поправку на теплоту нейтрализации кислоты, освобождающуюся при гидролизе.

Эти данные были подтверждены Джорджем и Рутманом: в высокоэнергетической фосфатной связи «высокой» энергии не оказалось.

Na, K- зависимая АТФаза, как и любая другая АТФаза не может совершать работу по перекачиванию Na^+ и K^+ , концепция высокоэнергетической фосфатной связи несостоятельна и мембранная теория несостоятельна.

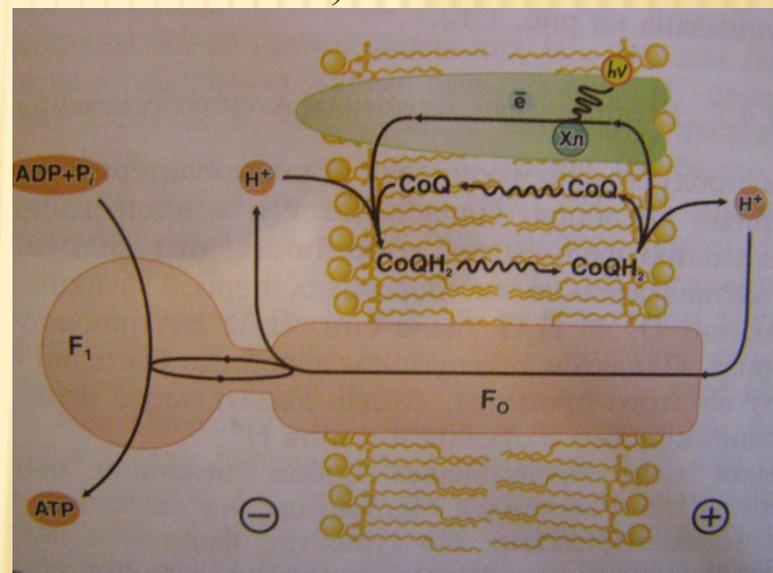
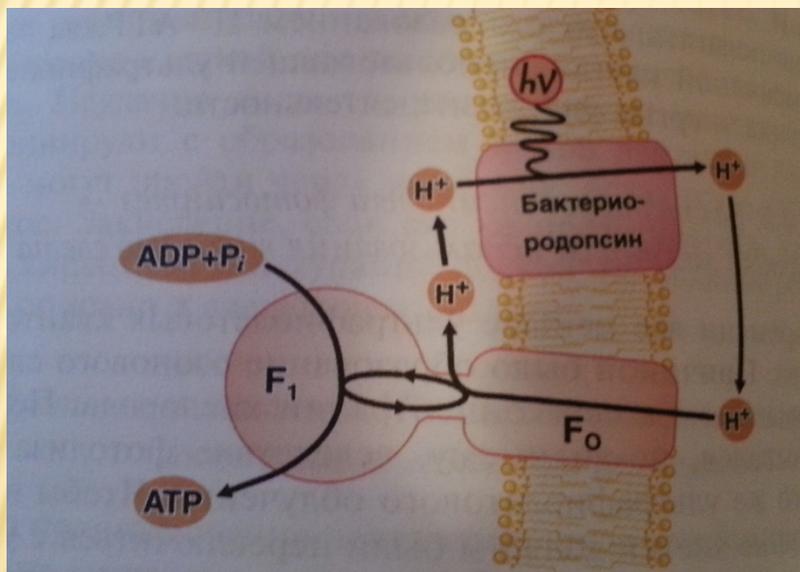
*P. George, R.J. Rutman. Prog.
Biophys. Chem. – 1960. – 10. – 1.
Г. Линг Физическая теория живой
Клетки (незамеченная революция)
// Сиб. Наука. – 2008. – 376 с.*

Анализ этих аргументов и данных литературы позволил нам сделать два исключительно важных вывода:

1. Мембранный потенциал и его изменения вероятно имеют другую природу, не связанную с работой мембранных насосов.
2. В клетке имеются другие источники запасаения энергии помимо фосфорсодержащих веществ.
3. Фосфорсодержащие вещества могут быть не аккумуляторами энергии, а «посредниками» для преобразования и использования энергии, добываемой клеткой при помощи других механизмов.

ИЗВЕСТНЫ СЛЕДУЮЩИЕ ОСНОВНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЖИВЫХ СИСТЕМАХ

- ✗ ФОТОСИНТЕЗ
- ✗ БИОЛОГИЧЕСКОЕ (АНАЭРОБНОЕ И АЭРОБНОЕ) ОКИСЛЕНИЕ.



ФОТОСИНТЕЗ

- ✘ Поток фотонов лучистой энергии Солнца поглощается пигментом хлорофилла растений через ряд сложных ферментативных процессов преобразуется в протонный градиент хлоропластов, а затем через Р-АТФ – синтетазы в энергию химических связей АТФ. Эта энергия используется для синтеза из неорганических молекул углекислого газа и воды первичных органических веществ, в химических связях которых аккумулируется энергия фотонов.
- ✘ Образующиеся первичные органические вещества поедаются растительными животными и преобразуются в органические вещества животных.



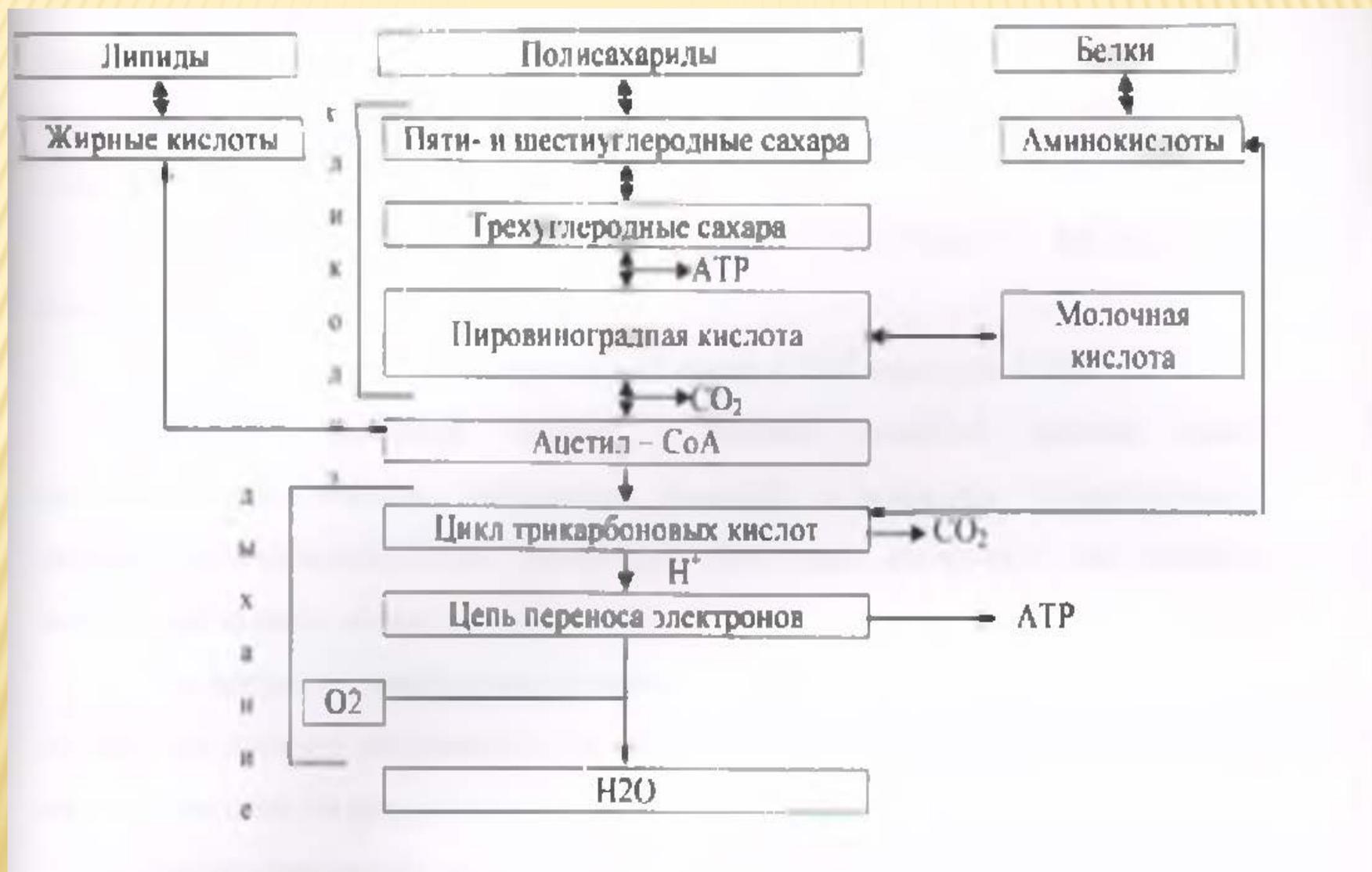
- ✘ Животные не обладают способностью к фотосинтезу и поэтому не могут использовать непосредственно солнечную энергию для синтеза необходимых им органических веществ.
- ✘ Поглощенные животными органические вещества в клетках окисляются и энергия этих химических связей веществ через ряд ферментативных молекулярных связей АТФ-энергия солнечного света «перемещается» от химических связей органических веществ растений в химические связи органических веществ животных.
- ✘ Совокупность этих процессов в клетках животных называется клеточным дыханием, которое протекает во всех клетках любых организмов, исключая анаэробные.



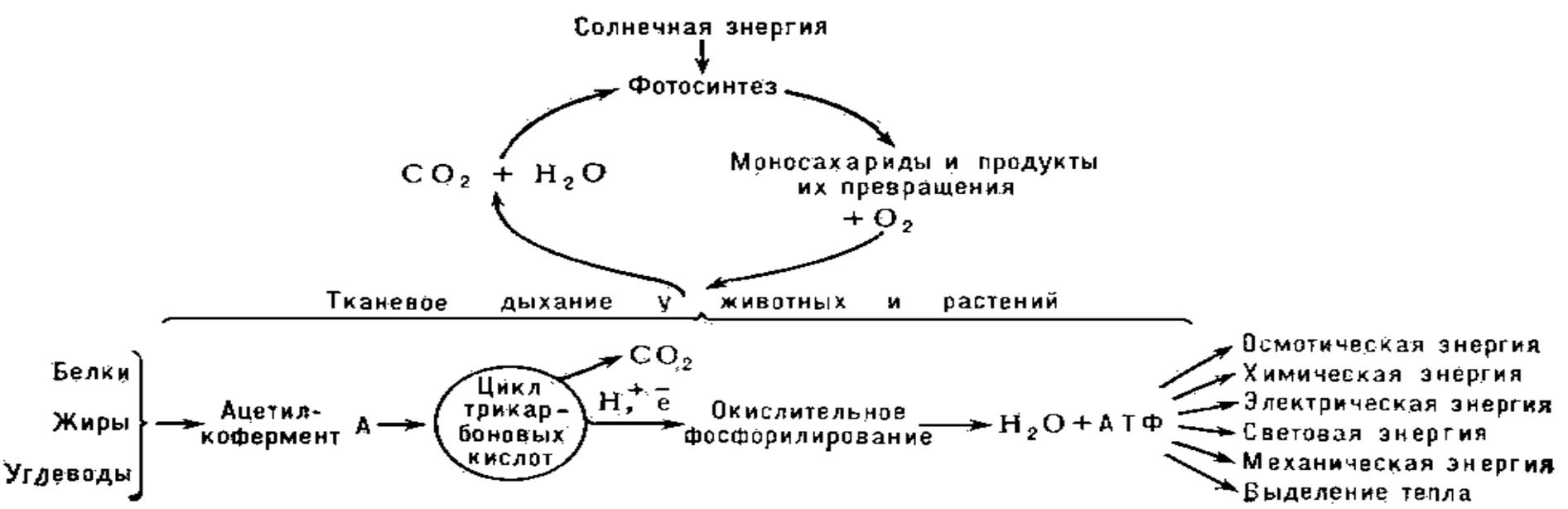
ПРОЦЕСС ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И МОЛЕКУЛ УСЛОВНО МОЖЕТ БЫТЬ РАЗДЕЛЕН НА ТРИ ЭТАПА

1. Подготовительный этап: макромолекулы пищи с помощью ферментов пищеварительного канала расщепляются до мономеров – аминокислот, глюкозы, нуклеотидов, жирных кислот (в клетках – с участием внутриклеточных гидролаз).
2. Анаэробный этап: частичный распад мономеров до нескольких ключевых промежуточных низкомолекулярных продуктов (преимущественно, ацетил-КоА и нескольких карбоновых кислот)
3. Аэробный этап: в митохондриях происходит окончательное окисление и распад ацетильных остатков органических веществ до CO_2 и H_2O в метаболическом цикле Кребса: вещества окисляются (ферментами отщепляется водород), углеродный скелет окончательно разрушается до углекислоты; отщепленный водород (универсальное энергетическое топливо соединяется с кислородом (окисляется) в конце дыхательной цепи митохондрий с образованием конечного продукта окисления – воды.

Виды метаболизма в животных клетках

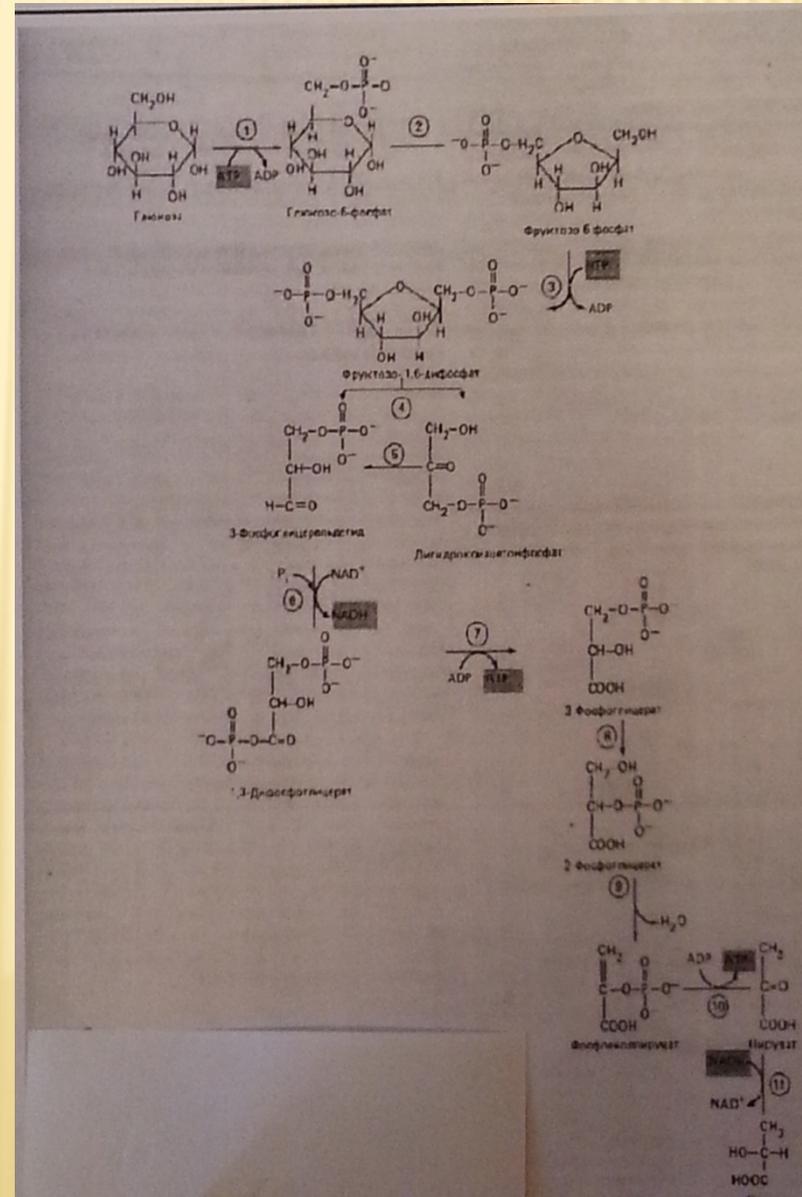


- ✘ Процесс окисления органических веществ в клетках, сопровождающийся потреблением кислорода и образованием воды, называется тканевым дыханием, а система переноса электронов внутренней мембраны митохондрий называется дыхательной цепью.
- ✘ Энергия движения электронов по дыхательной цепи от одного переносчика к другому используется как активный транспорт протонов из матрикса в межмембранное пространство, где создается высокий электрохимический градиент, энергия которого используется для синтеза АТФ в специальном ферментативном трансмембранном комплексе АТФ-синтетазе в процессе движения через нее «потока» протонов.

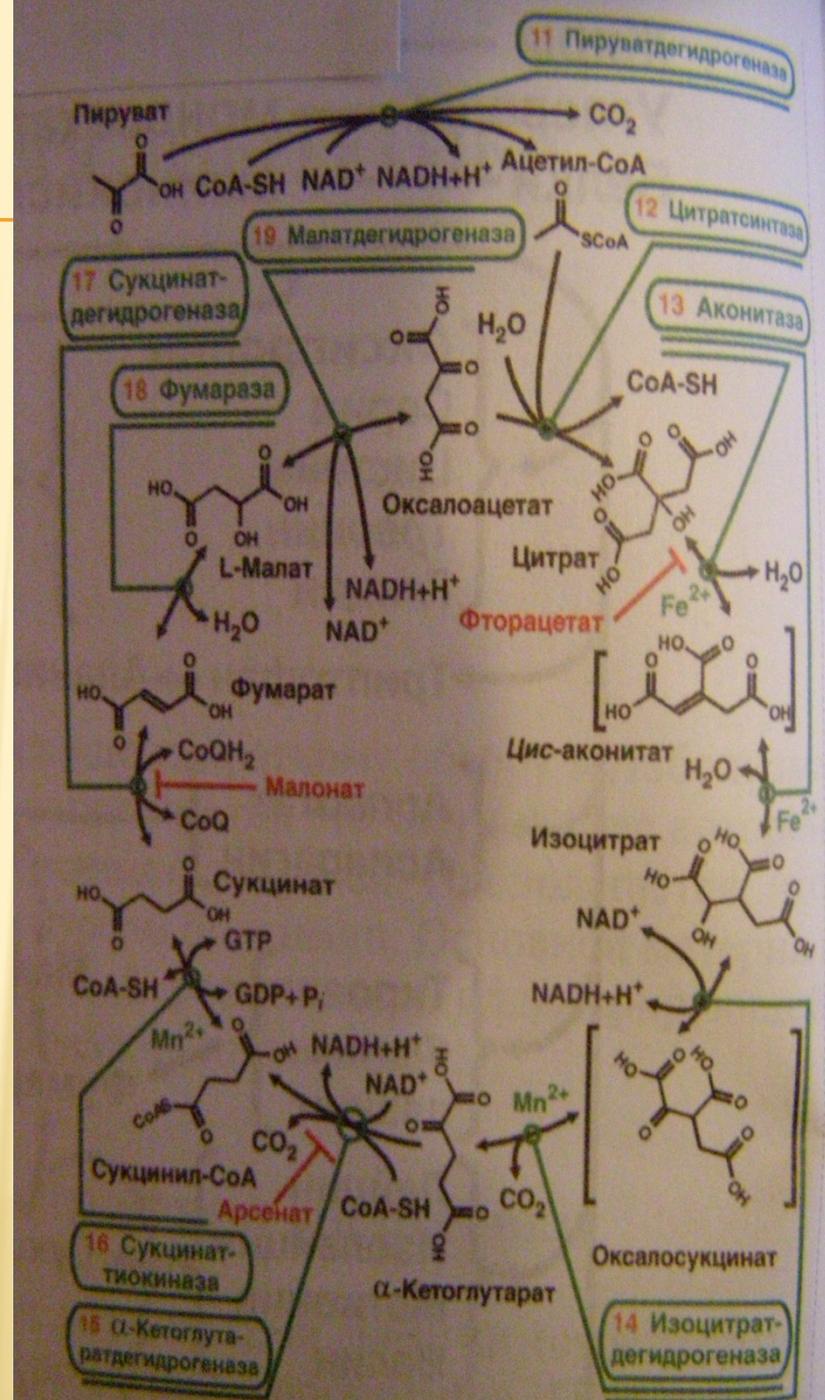


Известны следующие метаболические пути процессов взаимосвязанной цепи химических реакций в клетке:

Метаболический путь гликолиза – совокупность десяти последовательных реакций разрушения глюкозы. Ферменты этого метаболического пути компактно расположены в цитозоле клетки.

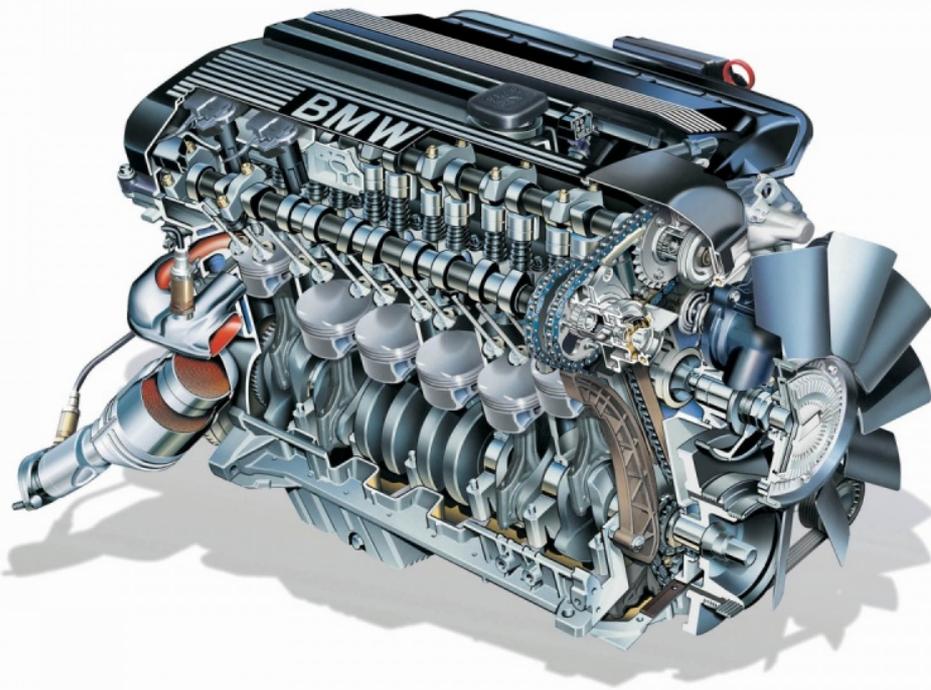


Цикл Кребса – совокупность взаимосвязанных биохимических реакций разрушения углеводородных цепей практически любых органических веществ через ацетил-КоА до углекислого газа и ионов водорода. Ферменты этого цикла компактно расположены в матриксе митохондрий.

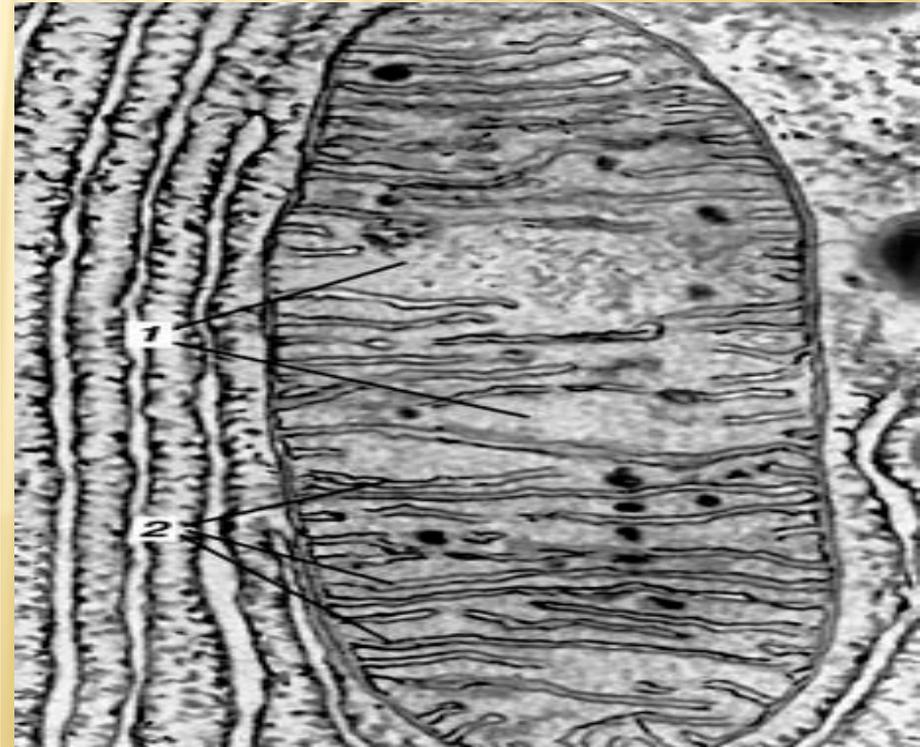


Живой организм является своего рода изотермическим «хемодинамическим двигателем» с высоким КПД до 60-70% (в отличие от тепловых – как у большинства машин с КПД до 25%).

Двигатель машины



Двигатель клетки
(электронное фото)



-
- ✘ Жизнедеятельность биологических объектов с момента рождения и до смерти отдельных клеток и организмов сопровождается их постоянными изменениями массы и объемными деформациями.
 - ✘ Процессы, связанные с изменением массы клеток и их популяций, называются гипер- и гипобиотическими.
 - ✘ В изменениях массы биологической ткани и клеток определяющую роль играют процессы биосинтеза, энергетического обмена, апоптоза, катаболизма и др.
 - ✘ Известно, что изменение массы во многом зависит от естественных и индуцированных напряжений в биологических структурах (Лоцилов В.И. и соавт. 1976).

Биологический рост и регенерация биологических тканей является строго регулируемым процессом, в котором выделяют различные уровни:

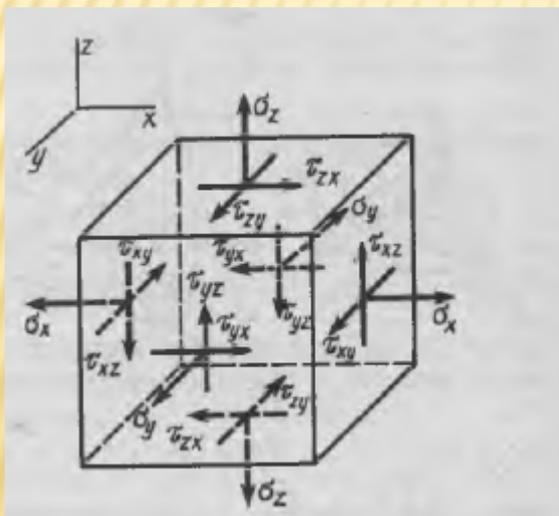
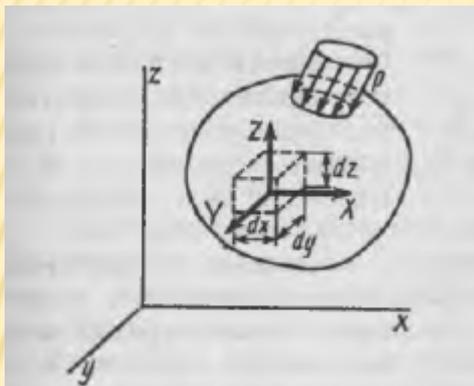
1. В многоклеточных организмах координация размножения клеток тканей осуществляется благодаря центральным системам (нервной и гуморальной).
2. Органный уровень.
3. Тканевой уровень.
4. Клеточный уровень.
5. Геномный уровень.

Многочисленные исследования свидетельствуют об отчетливой связи между биологическим ростом и наличием механических деформаций растущих тканей.

- ✘ Явление возникновения собственных и индуцированных напряжений между отдельными клеточными элементами, в частности, в костях человека и животных (Лоцилов В.И. и соавт. Открытие СССР №181, 1976.).
- ✘ Механические напряжения в биологических тканях играют чрезвычайно важную роль в процессе жизнедеятельности, функционировании и репродукции, а также в процессах бластогенеза (Маленков А.Г. Открытие № 330, 1987).
- ✘ Общебиологическое свойство тканей отвечать на возникающие в них дозированные напряжения, преимущественно, растяжения, ростом и регенерацией, обусловленными стимуляцией процессов биосинтеза в тканях (Илизаров Г.А. Открытие СССР № 355, 1988).
- ✘ Выявленные изменения митоза в клетках растений в условиях невесомости (Делоне И.Л., Парфенова Г.П. Открытие СССР № 318, 1986)

Теория напряженно-деформированного состояния в точке тела

Напряжение, как и поверхностная нагрузка, выражаются в Н/м².



На гранях параллелепипеда действуют три нормальных и шесть касательных напряжений, совокупность которых образует тензор напряжений:

$$T_{II} = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{pmatrix}.$$

Принципиально выделяют:

- ✗ напряжение сжатия
- ✗ напряжение растяжения
- ✗ напряжение кручения.

Александров А.В., Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности.-1990. – 399с.

Совершенство структуры
кристалла – гарантия
повышенной прочности.

А.Ф. Иоффе (1920)

Термин механической деформаций определен наукой о сопротивлении материалов, теорией упругости и пластичности, теорией прочности и разрушения.

В основе их лежат:

Опыты Леонардо да Винчи (1452-1519)

Работа Роберта Гука (1635-1703)

Работа Томаса Юнга (1773-1829)

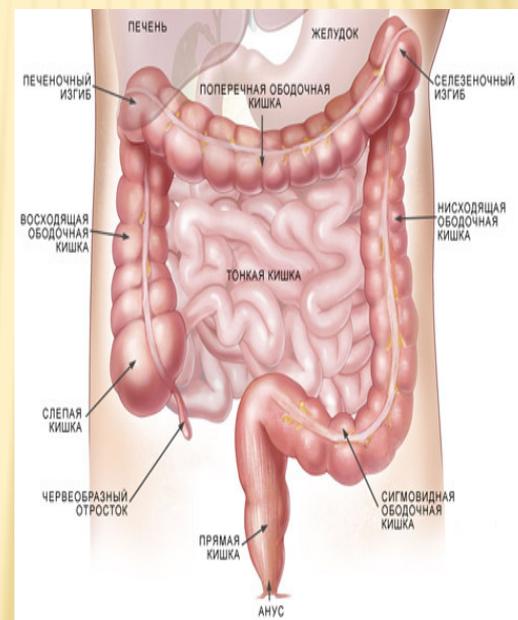
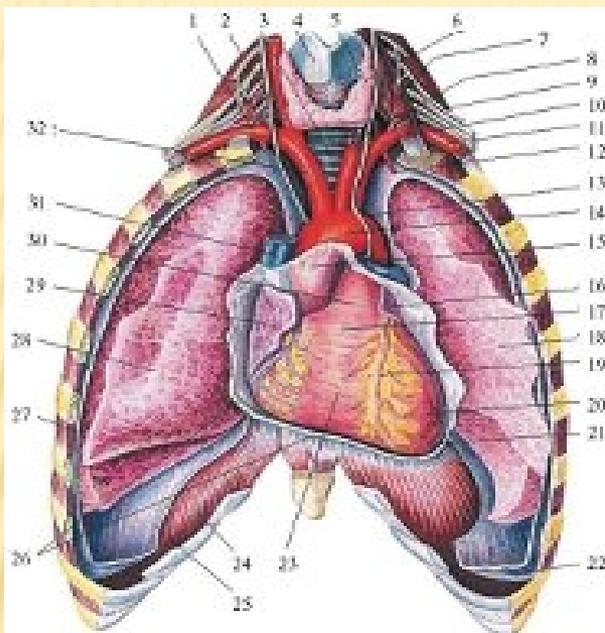
Термины «напряжение и деформация» и «модуль упругости» Огюстен Коши (1789-1857) и Симсон Пуассон (1781-1840)

Классическая теория упругости де Сен-Венан (1797-1886)

Теория кручения и изгиба стержней призматического сечения

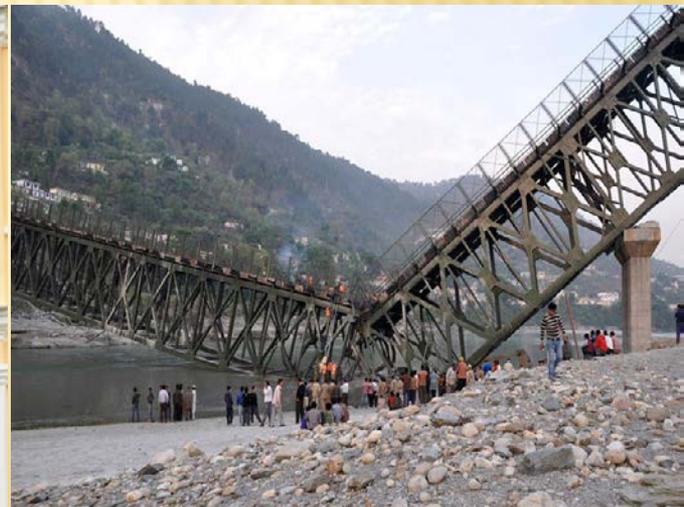
Теория Гриффитса-Ирвина – линейная механика разрушения.

- ✘ Известна физиологическая потребность живых существ, их отдельных органов, тканей и клеток в постоянном движении, изменчивости формы (например, биение сердца, пульсации сосудов, перистальтика кишечника, дыхательные экскурсии легких и др.)



- ✘ Однако энергетическая целесообразность этих многогранных процессов не доказана, общая концепция фундаментальных закономерностей естественных и индуцированных изменений объема, формы и массы биообъектов не разработана.

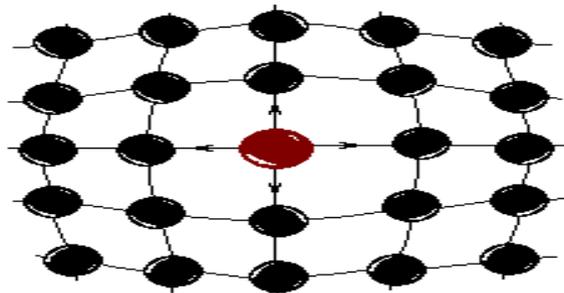
- ✘ Механические напряжения подразделяются на напряжение сжатия, растяжения или кручения (сдвига), а наука, изучающая эти процессы, называется сопротивлением материалов.
- ✘ В объектах неживой природы накопление механических напряжений является основой всех разрушительных процессов



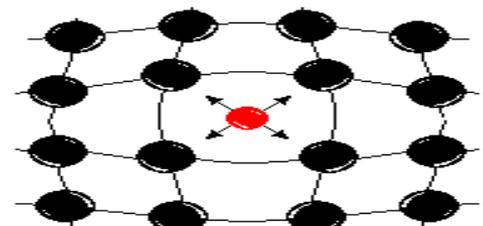
- ✘ В объектах живой природы такая дозированная энергия эффективно используется для жизнедеятельности биологических объектов.

-
- ✘ Известно, что биологические объекты, в частности, биологические мембраны состоят из липидов, белков, углеводов, растворенных электролитов, веществ и воды.
 - ✘ Исследованиями последних лет показано, что некоторые из них могут иметь жидкокристаллическую структуру, для которой свойственно при определенных условиях воздействий вырабатывать пьезоэлектричество – Открытие «экситона» в полупроводниках и диэлектриках (Горс Е.Ф. и соавт. Открытие №105, 1970).

- ✘ Пьезоэффект впервые был обнаружен Ж. и П. Кюри (1880) на кристаллах кварца (SiO_2)
- ✘ Пьезоэлектрические свойства к настоящему времени выявлены более чем у 1500 веществ.
- ✘ Пьезоэлектрический эффект наблюдается в анизотропных диэлектриках, преимущественно, в кристаллах веществ, обладающих достаточно низкой симметрией, не имеющих центров симметрии, а имеющих полярные направления оси.
- ✘ Внешние механические силы, действующие на кристаллы, вызывают в нем не только механические напряжения и деформации, но и электрическую поляризацию, а следовательно, и появление на его поверхности связанных электрических зарядов разных знаков.
- ✘ В основе этого эффекта лежит некоторая деформация кристаллической решетки – она сжимается как пружина за счет параллельных плоскостей кристалла.
- ✘ Индуктивный эффект, возникающий при этом, состоит во взаимном влиянии атомов в молекуле, заключающейся в перераспределении электронной плотности в молекуле, при котором плотность электронов (плотность заряда) может измениться у ковалентной связи на функциональной группе, на активном центре или на каком-либо рассматриваемом атоме.



примесь замещения



примесь внедрения

- ✘ Сжатие от внешнего импульса, деформируя сначала атомы, деформирует и кристаллическую решетку, уплотняя ее. Атомы при сжатии получают некоторое количество энергии, достаточное для изучения избытка энергии, которая излучается и передается дальше последовательно – атом за атомом, атомом и решетки, меняя и форму решетки, и свою собственную.
- ✘ В связи с сопротивлением материала (упругостью) этот процесс затухающий.
- ✘ Изменение собственной формы атома влечет за собой изменение скорости его вращения и, следовательно, свойств.
- ✘ Изменение магнитного поля атома – оно тоже сжимается и вытягивается во взаимоперпендикулярных плоскостях.
- ✘ Изменение его взаимодействия в системе атомов кристаллической решетки.
- ✘ Меняется спектр его излучения
- ✘ Диэлектрик, ранее не проводивший ток, на короткое время в локальной поверхностной области приложения механической силы становится проводником.

- ✘ Явление пьезоэффекта, с этой точки зрения, объясняется как резонансное (или синхронное) поглощение энергии внешнего воздействия атомом и кристаллической решеткой.
- ✘ При частом периодическом повторении импульсов локальная деформация медленно нарастает, а общая деформация перемещается к концу кристалла, причем размеры кристалла и расположение осей имеет большое значение при таком поглощении.
- ✘ Собственная чистота вращения атомов – геометрия решетки определяет собственную чистоту колебаний кристалла.

Частные случаи пьезоэффекта

✦ Эффект Поккельса – преобразование лазерного излучения в пьезоэффект кристалла при импульсном режиме воздействия большой мощности.



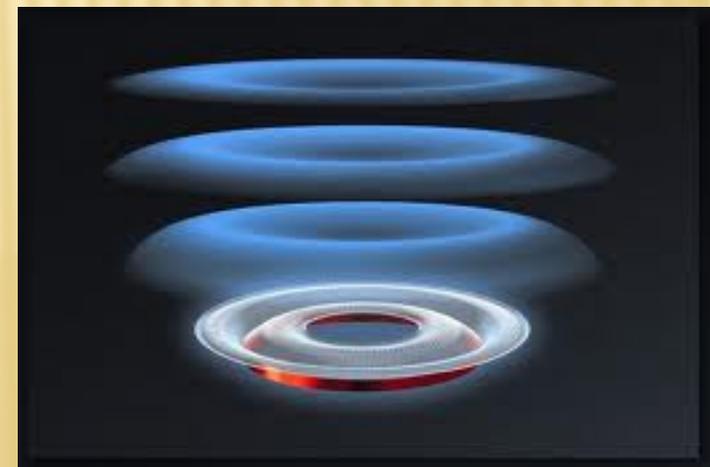
✦ Пироэлектрический эффект – возникает в кристаллах, в которых суммарный дипольный момент отличен от нуля в отсутствие внешнего электрического поля (самопроизвольно или спонтанно поляризованные кристаллы - пироэлектрики). Обнаруживается по возникновению заряда на их поверхности при нагревании или охлаждении.



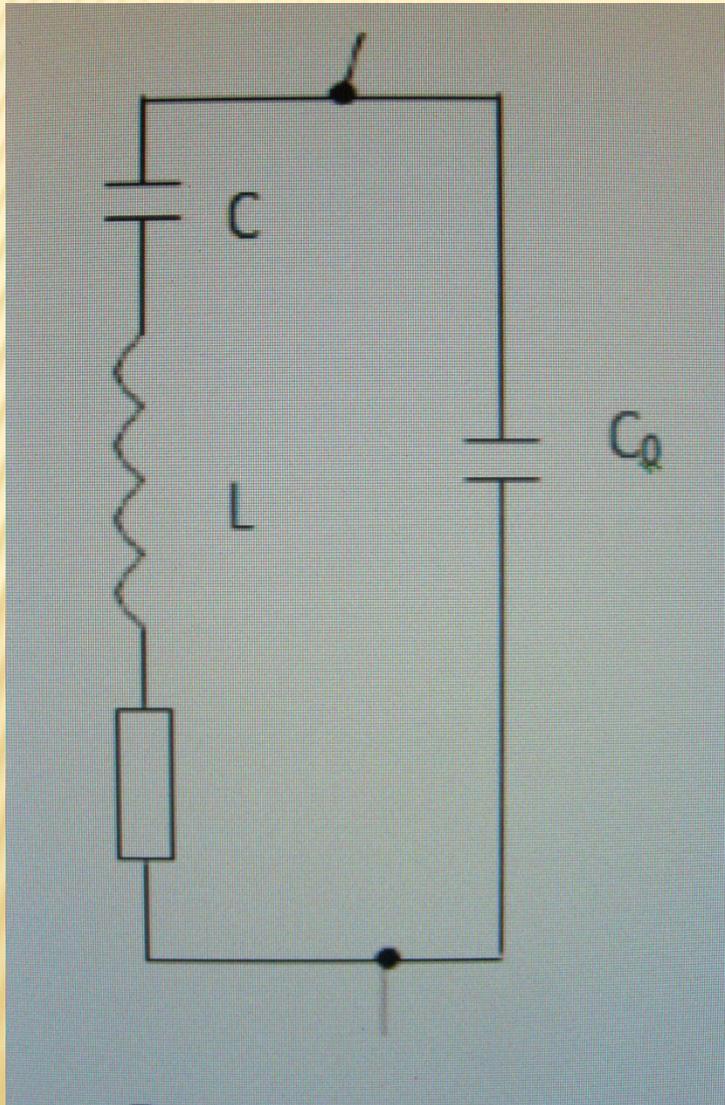
- ✘ Явление спонтанной поляризации в лиотропном жидком кристалле.



- ✘ Акустоэлектрический эффект – возникновение постоянного тока или ЭДС в металлах или полупроводниках под действием интенсивной упругой волны высокой частоты (ультразвук, гиперзвук (1ГГц – 1т Гц) в направлении его возникновения).



-
- ✘ Если пьезоэлемент помещен между металлическими обкладками или на противоположные грани пьезоэлемента нанесены металлические пленки, то эту систему можно рассматривать как конденсатор с диэлектриком из пьезоэлектрика.
 - ✘ При подведении к такому пьезоэлементу переменного напряжения пьезоэлемент за счет обратного пьезоэффекта будет сжиматься и разжиматься, то есть совершать механические колебания.
 - ✘ При воздействии внешней переменной механической силы на пьезоэлементе возникает переменное напряжение той же частоты: механическая энергия преобразуется в электрическую и пьезоэлемент становится генератором ЭДС и колебательной системой (в отношении электромагнитных колебаний пьезоэлемент эквивалентен колебательному контуру).



- ✘ Соответствующая схема пьезоэлемента представлена на рисунке.
- ✘ L – индуктивность, отражает инерционные свойства пьезоэлектрической пластины
- ✘ C – емкость, характеризует упругие свойства пластины
- ✘ R – активное сопротивление, отражает потери энергии при колебаниях
- ✘ C_0 – емкость статическая, представляет собой обычную емкость между обкладками и пьезоэлемента и не связана с колебательными свойствами.

Биологическую мембрану можно рассматривать как электрический конденсатор.

- ✘ Проводниковые пластины конденсаторов образуют электролиты наружного и внутреннего растворов (внеклеточного и цитоплазмы).
- ✘ Проводники разделены билипидным слоем, где липиды выполняют функцию диэлектриков, а расстояние между пластинами конденсатора соответствует толщине липидного слоя мембраны.
- ✘ При физиологических условиях липидные молекулы находятся в жидком агрегатном состоянии.

Мембранная теория

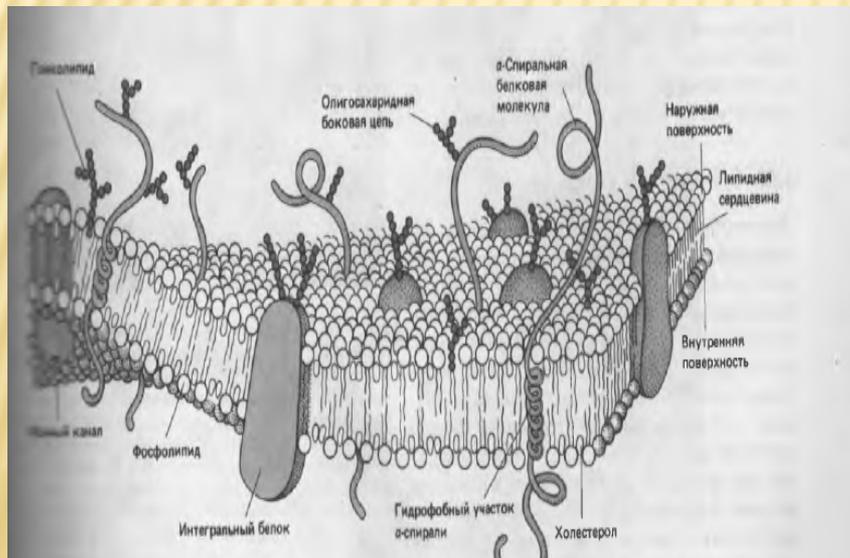
Объясняет четыре фундаментальные свойства плазматической мембраны:

1. Полупроницаемость клетки (одни вещества легко проникают в клетку, другие труднее, третьи практически в нее не попадают)
2. Неравномерное распределение веществ, ионов (например, K^+ и Na^+ , между клеткой и средой): одних больше в клетке чем в среде, других меньше (свойство избирательности)
3. Способность клетки генерировать электрические потенциалы (покоя и действия)
4. Способность клетки поддерживать осмотическое равновесие со средой (осмотические свойства)

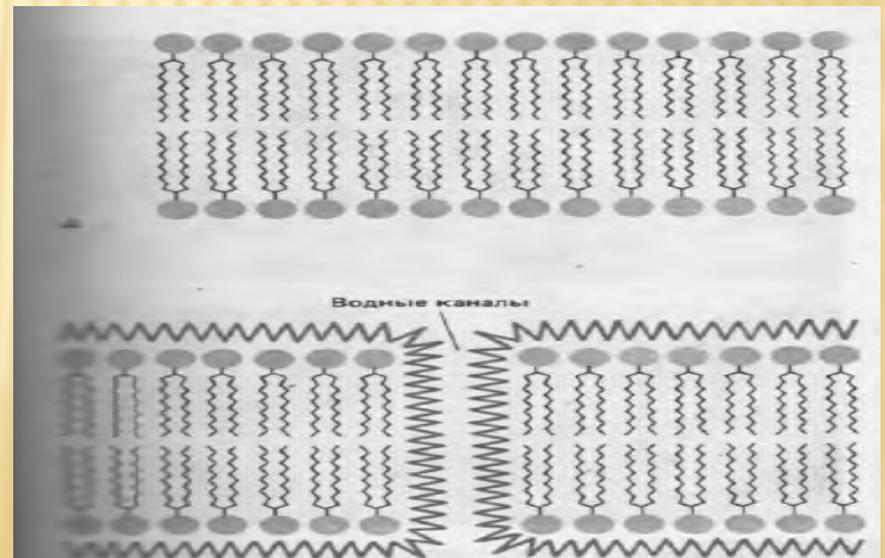
Для объяснения явления полупроницаемости мембран были созданы следующие модели:

- ✗ Мозаичная теория мембран Натаксона (1904)
- ✗ Теория липоидной фильтрации Колландера и Берлунда (1933)
- ✗ Олигомолекулярная теория Даниэли-Харви (1943)
- ✗ Жидкостно-мозаичная теория Сингера-Николсона (1972)
(ныне принятая)

Трехмерная схема жидкостно-мозаичной модели мембраны Сингера-Николсона



Бимолекулярный слой Гортера-Грендела



Явление электропорации мембран.

При фазовых переходах из геля – в жидкокристаллическое состояние и обратно в липидном бислое образуются сквозные каналы радиусом 1-3 нм, по которым через мембрану могут переноситься ионы и низкомолекулярные вещества, вследствие чего при температуре фазового перехода резко увеличивается ионная проводимость мембраны.

*Гордиенко Е.А. и соавт.
Биофизика клеточных
мембран. – 2009. – 304с.*

Достаточным условием существования спонтанной поляризации в жидких кристаллах являются:

- ✘ -слоистость структуры.
- ✘ -наклон длинных молекулярных осей к нормам слоя
- ✘ -киральность молекул, имеющих ненулевой дипольный момент
- ✘ Киральность и дипольный момент могут быть привнесены в систему с помощью легирующей смеси.
- ✘ Также симметричные признаки могут быть реализованы в лиотропных жидких кристаллах (на примере мембранообразующих фосфолипидов: лецитин легированный синтетически активным холестерином)
- ✘ С учетом индукции пьезоэлектричества в биологических жидких термотропных кристаллах процессы полного транспорта и другие электрические явления в мембранах должны интерпретироваться с учетом этой особенности:
- ✘ -полная симметрия используется для генерации возбуждения в нервных и мышечных клетках
- ✘ -является движущей силой для работы белков-переносчиков, осуществляющих транспорт аминокислот и сахаров в клетку

Вещества, в которых появляется электрический ток и поляризация слоев под влиянием длительных механических воздействий, называются сегнетоэлектриками.

Они делятся на пьезо и пирозэлектрики. (работают при механических и тепловых воздействиях)

- ✘ Пьезоэлектрические материалы могут быть разделены на монокристаллы (природные минералы кварца, дигидрофосфата калия и аммония, сегнетовой соли, ниобата лития, силикоселенита) и поликристаллические сегнетоэлектрические (пьезокерамика). К изученным биологическим пьезоэлектрикам относят холестерин и его производные.
- ✘ К отдельной разновидности сегнетоэлектриков относят пирозэлектрики – вещества в которых вырабатывается электрический ток при температурном воздействии (природный минерал турмалин, триглицинсульфат, титанат бария, титанат свинца, сегнетоэлектрические цирконаты, моногидрат сульфата лития.)

Липиды мембран,

представляют собой смесь из нескольких сотен различных соединений.

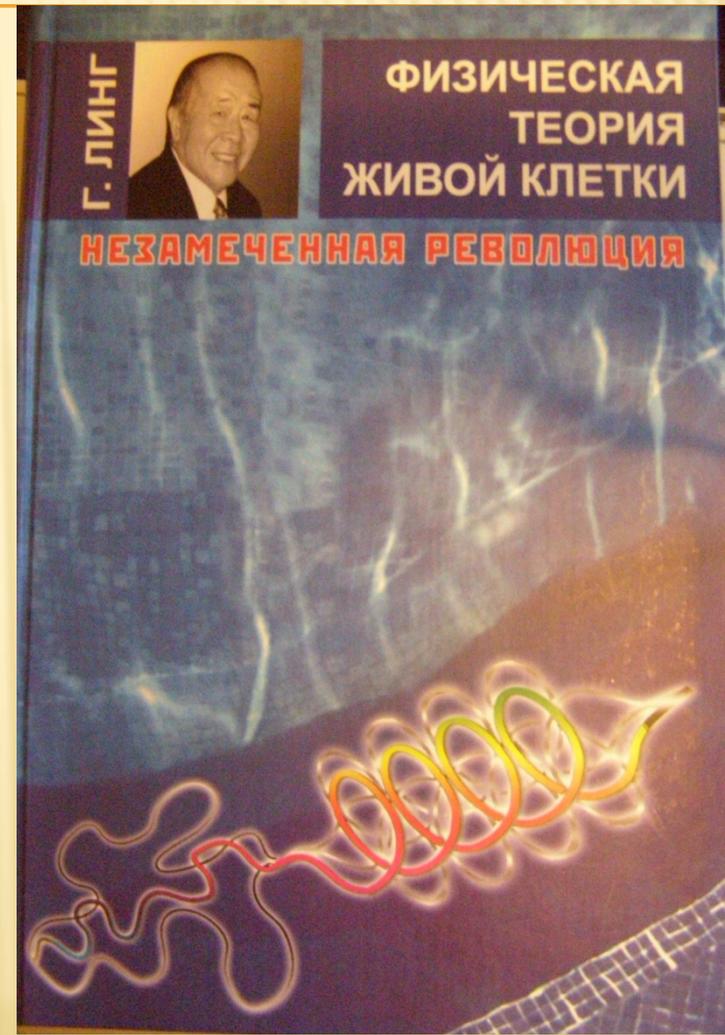
- ✘ Все структурообразующие липиды (фосфо- и гликолипиды) обладают ярко выраженной анизотропией вследствие пространственного разделения гидрофильной и гидрофобной частей (называются «головками» и «хвостами»)
- ✘ Полярные гидрофильные «головки» глицерофосфолипидов (фосфатидилхолин, фосфатидилэтаноламин, сфингомиелин) несут положительный и отрицательный заряды
- ✘ Гидрофобные части липидных молекул представляют собой остатки жирных кислот: содержащие от 14 до 24 атомов углерода
- ✘ Обнаружено асимметричное распределение липидов между внутренним и наружным монослоями липидного матрикса (общее свойство мембран всех видов - базовое условие для формирования пьезо- и пьезоэлектричества)
- ✘ Структура мембран рассматривается не как застывшая, а как постоянно изменяющаяся за счет тепловых, рН и механических флуктуаций.
- ✘ Учитывая большое разнообразие этих веществ вполне возможно, что пьезоэлектрическими свойствами обладает значительное число представителей.

Среди мембранных липидов особое место занимает вещество стероидной природы – холестерин, обладающий пьезоэлектрическими свойствами.

- ✘ Обязательный компонент плазматических мембран клеток животных.
- ✘ Присутствует в значительных количествах в свободном виде и в виде эфиров с жирными кислотами.
- ✘ Влияет на текучесть биомембран.
- ✘ При температурах ниже фазового перехода нарушает правильную «упаковку» молекул фосфолипидов в бислой, ослабляя гидрофобные связи – тем самым «разжижая» мембрану.
- ✘ При температурах выше фазового перехода, когда межмолекулярные расстояния увеличены, холестерин занимает пустоты между молекулами липидов, оказывая «конденсирующий» эффект на мембрану.
- ✘ В жидком кристалле за счет теплового движения возможны структурные переходы: «хвосты» молекул изгибаются, их параллельность друг другу в отдельных местах нарушается (особенно сильно в середине мембраны), толщина мембраны в гель-фазе больше, чем в жидком кристалле.
- ✘ При переходе из твердого в жидкокристаллическое состояние объем несколько увеличивается, увеличивается площадь мембраны, приходящаяся на одну молекулу ($0,48 \text{ нм}^2 - 0,58 \text{ нм}^2$).

Согласно теориям Г. Линга (1952-1962) стойкое сжатие клетки под воздействием концентрированных веществ, проникающих в нее, является результатом сочетанного действия следующих факторов:

- ✘ 1. Перманентная способность клеточных белков адсорбировать новые и новые слои воды, вызывая набухание.
- ✘ 2. Образование в клеточных белках внутри- и межмолекулярных солевых связей, сдерживающих набухание.
- ✘ 3. Низкая растворяющая способность внутриклеточной воды, благодаря которой в ней меньше осмотических активных веществ (Na^+ и Cl^- и других свободных компонентов) чем в среде (активность клеточной воды оказывается выше чем снаружи – в гипертоническом растворе, в результате она начинает оттекать во внешнюю среду – клетка начинает сжиматься).



Огромную роль мембран в жизненных процессах связана с их относительно большой площадью, достигающей в совокупности в организме человека десятков тысяч квадратных метров.

Исследованиями Коул и Кертис (1935) установлены некоторые электрические параметры биологических мембран:

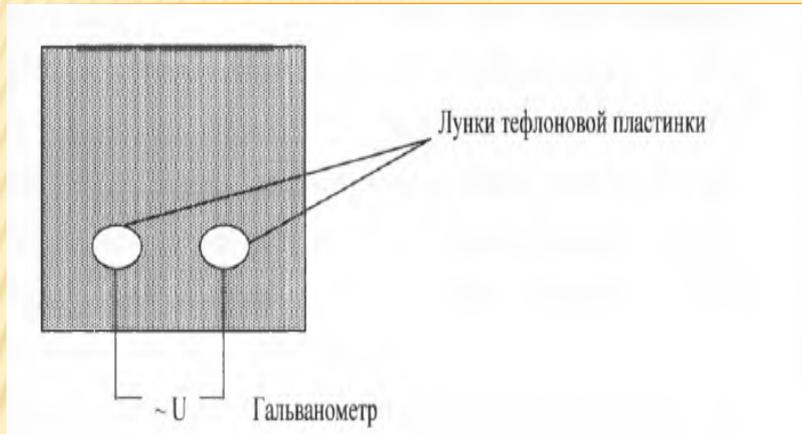
- ✘ высокое электрическое сопротивление – 10^7 Ом/м²
- ✘ большая емкость – $0,5$ Ф/м².

ДИЗАЙН ДОКАЗАТЕЛЬСТВ

достоверности открытия «Пьезосинтетический эффект в биологических тканях (пьезобиосинтез)»

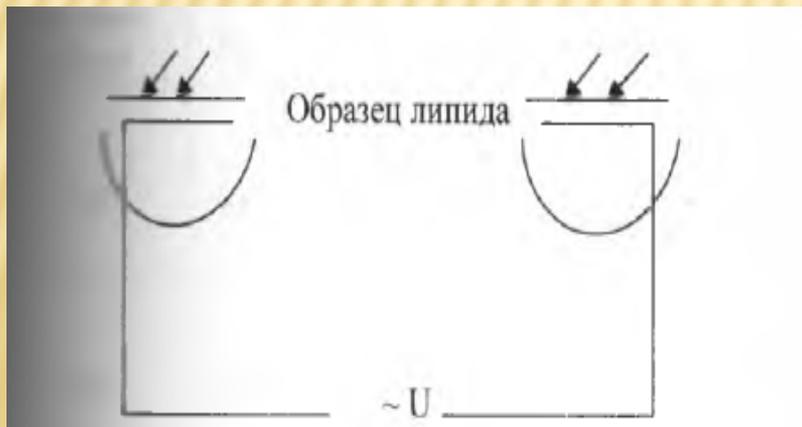
1. Исследование пьезоэффекта в различных биологических средах.
2. Качественные и количественные доказательства синтеза фосфоросодержащих веществ под действием пьезоэффекта, возникающего в жидких кристаллах.
3. Возникновение мышечного сокращения под воздействием механических деформаций
4. Качественные и количественные доказательства синхронизации сокращений кардиомиоцитов под воздействием ультразвуковых напряжений сжатия и растяжения.
5. Электромикроскопическая характеристика субклеточных структур при их механических деформациях.
6. Состояние электрических, физико-химических и структурно-метаболических свойств биологических мембран клеток у больных колоректальным раком и их прогностическое значение.
7. Изменение электрических параметров клеточных мембран биологических тканей при механических факторах влияния.
8. Оценка пьезоэлектрического потенциала клеточных плазматических мембран.

- ✘ Для проведения эксперимента выделены очищенные вещества, нанесенные на тефлоновую пластинку с наличием микроперфораций в минимально возможном объеме.



К краевым дефектам пластинки были закреплены электрические проводники-микроэлектроды из высокоэлектропроводимого материала, с которых снимали электрические потенциалы при помощи гальванометра.

- ✘ Механической деформации помещенных в лунки образцов (липидов и их производных) достигали путем воздействия стандартизированными ультразвуковыми колебаниями.



Путем измерения разности потенциалов в различных биологических жидкостях определяли параметры воздействия, максимально воспроизводящего пьезоэффект, регистрируемый гальванометром.

Результаты измерений до и после встряхивания образцов

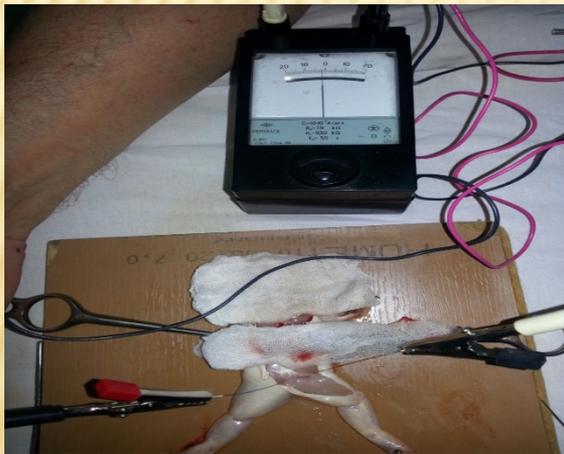
Образец	Результаты исходные, мВ	После встряхивания, мВ
№ 1- дистиллированная вода	0	4
№ 2 – глицерин	0	0
№ 3 - сыворотка пациента с ИБС	0	6
№ 4 - сыворотка пациента с опухолью пищевода	0	20

Результаты измерений до и после центрифугирования и встряхивания

Скорость вращения, об/мин	ОЦУ (g)	Образцы	Результаты после центрифугирования, мВ	Результаты после центрифугирования и встряхивания, мВ
1500	400	№1	0	1-2
		№2	0	0
		№3	0	3-4
		№4	0	6-8
3000	1500	№1	0	1-2
		№2	0	0
		№3	0	2
		№4	0	5-10
6000	6000	№1	0	1-2
		№2	0	0
		№3	0	2
		№4	0	2-6

Схема экспериментов, проведенных на сердечном нервно-мышечном комплексе лягушки

- ✘ Сжатие и растяжение сердечной мышцы с одновременной регистрацией потенциалов действия в проекции синусового узла (место впадения верхней полый вены в предсердие)
- ✘ Подтверждена обратная связь между сердечными мышечными сокращениями и стимуляцией нервных волокон синусового узла посредством возникающего пьезоэффекта в сердечной мышце лягушки под воздействием механических деформаций.

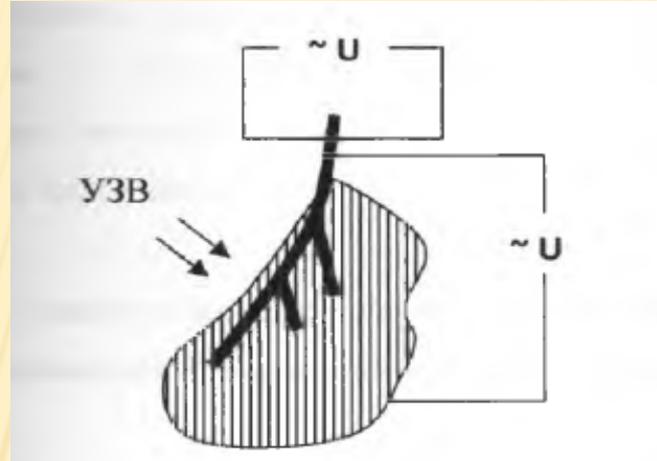
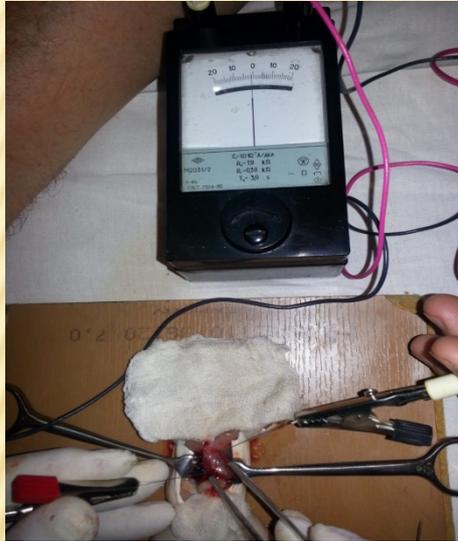


- ✘ Первый этап эксперимента на лапке лягушки: замер исходного потенциала при отсутствии механического воздействия

- ✘ Объект эксперимента (лапка лягушки) и типичное показание гальванометра при создании механического воздействия в проекции выхода седалищного нерва

- ✘ Объект эксперимента (лапка лягушки) и типичное показание гальванометра после снятия механического воздействия в проекции выхода седалищного нерва

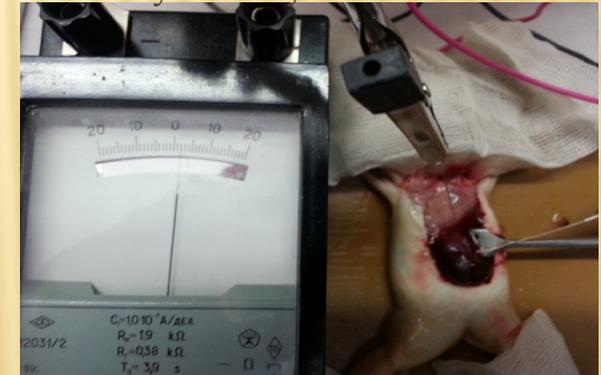
Схема экспериментов, проведенных на бедренном нервно-мышечном комплексе лягушки.



Объект эксперимента (сердце лягушки) и типичное показание гальванометра при создании механического воздействия на область синусового узла

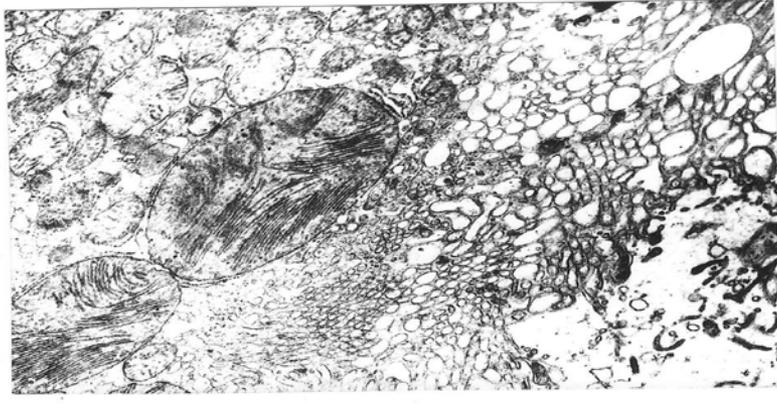
Первый этап эксперимента на сердце лягушки: замер исходного потенциала при отсутствии механического воздействия

Установлено возникновение электрического потенциала действия в нервной ткани седалищного нерва лягушки в ответ на проводимые механические воздействия.



✘ Объект эксперимента (сердце лягушки) и типичное показание гальванометра после снятия механического воздействия на область синусового узла

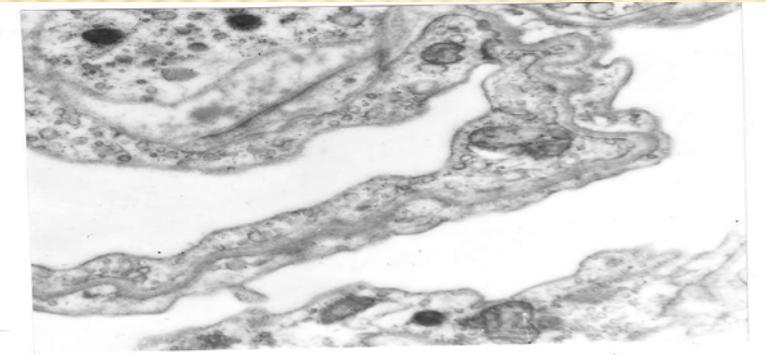
Электронно-микроскопическая характеристика субклеточных структур при их механических деформациях и пьезосинтезе



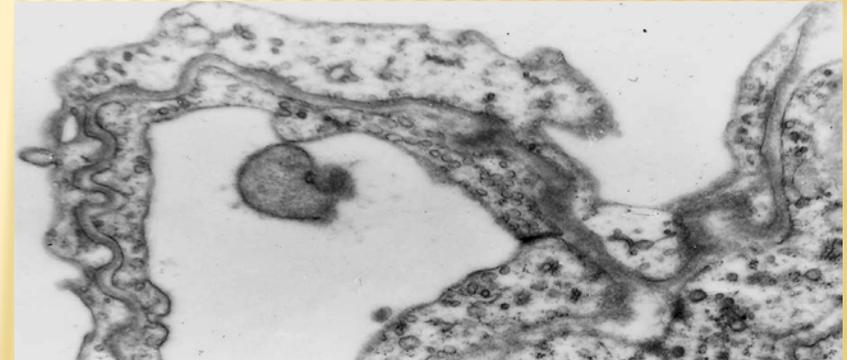
Ультраструктура эпителиальных клеток почечного нефрона кроликов при моделировании компрессионного синдрома средостения.



Ультраструктура кардиомиоцитов миокарда кроликов при моделировании компрессионного синдрома средостения.



Ультраструктура аэрогематического барьера респираторного отдела лёгких кроликов при моделировании компрессионного синдрома средостения.



Ультраструктура аэрогематического барьера лёгких крыс через один час после моделирования тупой травмы живота.

Выявлена корреляция между механическими объемными деформациями , активностью метаболических и репаративно-синтетических процессов, протекающих на уровне мембран и макромолекул.

Морфометрические характеристики органелл гепатоцитов печени крыс, подвергшихся термическому ожогу и действию экстракта термически пораженных тканей

Срок наблюдения	n	Объемные фракции (в %)				Число митохондрий	Абсолютная удельная поверхность (в мкм)
		Митохондрии	Лизосомы	Включения липидов	Эндоплазматическая сеть		
Контроль	6	23,3	2,0	0,44	8,7	16,4	0,50
3 часа после ожога	6	30,8	2,9	0,01	15,9	116,4	1,70
3 суток после ожога	6	30,3	2,3	0,75	16,6	11,6	1,96
3 суток после введения экстракта	6	15,4	2,06	2,38	16,8	12,8	4,99

Состояние электрических параметров мембран клеток крови у больных колоректальным раком

Группа наблюдения, электрические параметры $M \pm m$													
Емкость (пФ), стадия КРР					Сопротивление (ОМ), стадия заболевания					Относительные изменения (%), стадия			
Условно- здоровые пациенты (Co) n=23	Больные КРР, (Cк) n=158		ΔC		Услов- но- здо- ро- вые паци- енты (Ro) n=23	Больные КРР, (Rк) n=158		ΔR		γ_e		γ_e	
	III ст. n=101	IV ст. n=57	III ст. n=101	IV ст. n=57		III ст. n=101	IV ст. n=57	III ст. n=101	IV ст. n=57	III ст. n=101	IV ст. n=57	III ст. n=101	IV ст. n=57
51,4±0,3	47,2 ±0,6	41,3 ±0,4	-4,2	-10,1	340,8 ±1,6	320,4 ±1,3	290,6 ±1,7	-20,4	-50,2	-8,7	-19,6	-5,98	-14,7

Интенсивность хемилюминесценции сыворотки крови больных колоректальным раком и группы условно-здоровых пациентов в зависимости от локализации опухолевого процесса

Группа наблюдения, (n)	Виды хемилюминесценции (J°t), M±m				
	СХЛ	ИХЛ- H ₂ O ₂	ИХЛ-FeCl ₃	Люминол-зависимая ИХЛ	
				ЛЗИХЛ- H ₂ O ₂	ЛЗИХЛ-FeCl ₃
Мужчины: РПК (n=23)	84,5±6,6*	470,2±12,3*	456,2±17,8*	424,8±16,3*	418,3±14,8*
РПОК(n=28)	73,4 ±5,8*	463,8±16,2*	443,6±14,5*	415,6±18,2*	420,5±21,6*
РСлК(n=21)	65,7±5,1*	457,3±21,8*	426,7±18,9*	408,3±12,6*	413,8±17,3*
РСигК (n=25)	63,4±7,2*	430,8±15,6*	415,7±12,3*	395,3±16,5*	382,4±13,5*
Женщины: РПК (n=20)	89,7±8,3*	480,5±23,7*	473,8±24,2*	432,6±22,3*	412,4±13,5*
РПОК(n=15)	76,5±4,9*	462,4±14,3*	464,3±19,8*	423,8±17,6*	425,8±16,4*
РСлК(n=14)	69,8±7,5*	446,8± 20,5*	437,5±26,5*	415,7±23,4*	435,4±20,7*
РСигК(n=12)	60,4±3,8*	435,6±17,3*	418,6±20,8*	410,7±13,9*	373,6±18,4*
Условно-здоровые - мужчины (n=12)	140,6±18,2*	765,8±142,3*	774,3±128,6*	810,4±76,5*	835,7±66,3*
- женщины (n=11)	138,7±19,6*	754,6±138,5*	763,5±122,7*	827,3±86,4*	840,5±72,4*

Интенсивность люминол-зависимой флуоресценции сыворотки крови больных колоректальным раком и групп условно-здоровых пациентов

Группа наблюдения, стадия канцерогенеза (n)	Интенсивность флуоресценции (J°), M±m					
	297 нм	313 нм	334 нм	365 нм	404 нм	434 нм
Больные муж.+жен. III стадия (n=101)	5425,3±167,2*	397,8±37,4*	772,3±31,6*	2625,3±79,5*	1545,6±64,7*	1612,3±84,5*
IV стадия муж.+жен. (n=57)	6235,7±184,3*	456,2±41,5*	797,8±29,4*	2988,4±69,3*	17,83±58,2*	1928,7±73,2
Условно-здоровые пациенты муж.+жен. (n=23)	3110,4±115,6	327,8±25,4	657,3±33,6	1742,3±57,4	485,2±41,6	608,3±23,9

Динамика самопроизвольного и индуцированного валиномицином выхода ионов K^+ из эритроцитов у больных колоректальным раком (мкм K^+ /мин* 10^6 эритроцитов) в зависимости от стадии болезни.

Показатели	Группа наблюдения, стадия болезни (M±m)		
	Условно-здоровые (n=23)	III стадия (n=101)	IV стадия (n=57)
Скорость самопроизвольного выхода K^+	0,496±0,02	5,40±0,92*	7,83±1,25*
Скорость индуцированного выхода K^+	6,20±1,14	14,35±1,86*	18,42±2,17*
Суммарное количество выходов ионов K^+ на млн эритроцитов	17,23±1,46	71,53±8,44*	92,16±9,48*

Процентное содержание фракций фосфолипидов в мембранах лейкоцитов и эритроцитов больных колоректальным раком в зависимости от стадии опухолевого процесса

Показатели (%)	Группа наблюдения, стадия болезни, (M±m), тип клеток					
	Условно-здоровые (n=23)		Больные (n=158), муж.+жен.			
			III стадия (n=101)		IV стадия (n=57)	
	эритроциты	лейкоциты	эритроциты	лейкоциты	эритроциты	Лейкоциты
ФЭА	22,21±1,46	23,75±1,16	15,20±1,83*	17,14±2,45*	16,14±1,38*	16,37±1,42*
ФХ	41,93±1,32	39,12±2,15	56,10±4,89*	50,86±6,13*	57,26±3,72*	52,44±3,76*
СМ	17,41±1,65	18,96±1,48	11,25±2,74*	12,93±2,18*	10,36±1,14*	11,65±1,22*
ФС	10,32±0,77	11,37±1,19	6,16±1,86*	7,14±1,23*	5,74±1,08*	6,23±0,84*
ЛФЭА	1,25±0,36	1,82±0,26	4,73±1,14*	3,94±0,97*	5,98±0,85*	4,76±0,73*
ЛФХ	1,38±0,27	1,35±0,24	4,56±1,23*	4,15±1,38*	5,23±0,76*	4,97±0,68*
ФИ	6,44±0,53	7,52±0,46	2,85±0,78*	3,64±1,17*	2,66±0,54*	1,84±0,33*
КЛ	0,42±0,07	0,63±0,04	1,87±0,55*	1,73±0,25*	1,98±0,09*	2,05±0,42*

Динамика обмена ионов металлов в сыворотке крови у больных колоректальным раком при обтурационной непроходимости

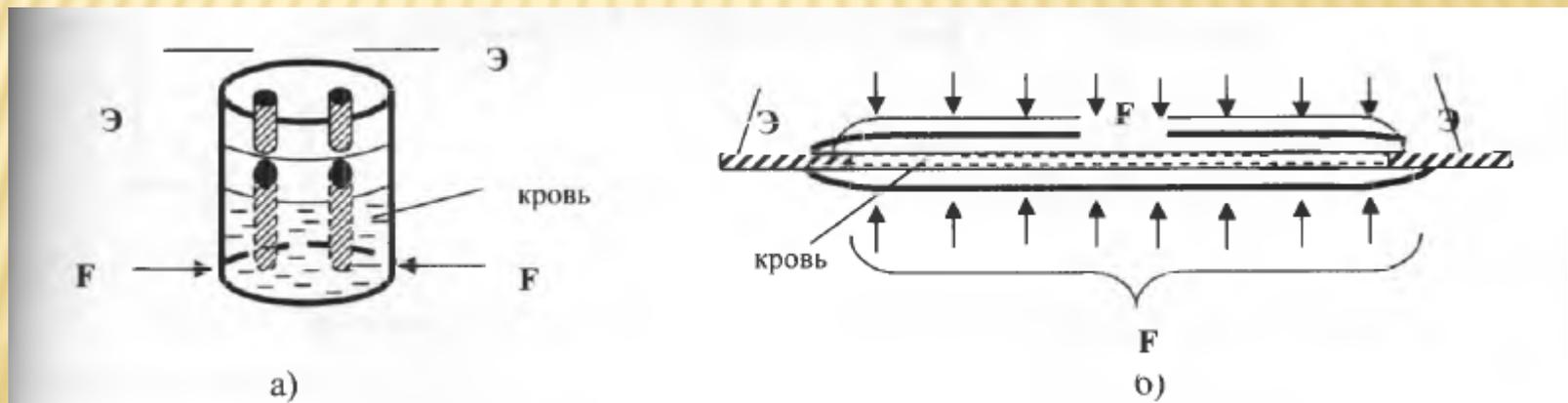
Показатели	Группа наблюдения, М±m		
	Условно-здоровая (n=23)	Компенсированная непроходимость (n=30)	Субкомпенсированная непроходимость (n=27)
Калий (ммоль/л)	3,18±0,22	4,32±0,26*	5,65±0,30*
Натрий (ммоль/л)	155,73±6,17	140,43±5,83*	136,7±6,92*
Кальций (ммоль/л)	2,42±0,16	1,86±0,17*	1,57±0,18*
Магний (ммоль/л)	0,98±0,12	1,53±0,16*	2,86±0,24*

Изменение электрических параметров клеточных мембран при механических воздействиях

1. Экспериментально доказано появление эффекта ухудшения диэлектрических свойств (уменьшение емкости) клеточных микроструктур биологических тканей под воздействием механического давления.
2. Уменьшение емкости и сопротивления биологических тканей под влиянием факторного механического воздействия указывает на увеличение тангенса угла диэлектрических потерь (в среднем от величины 9,85 до 10,02, т.е. на 1,7%), что свидетельствует о появлении дополнительного поглощения тканью тепловой мощности и от источника факторного влияния
3. Это означает, что механическая (например, звуковая) энергия преобразуется в тепловую непосредственно клеточными и субклеточными компонентами, например, мембранами, следствием чего могут являться эффекты химико-биологической активации всех энергетических процессов живого организма, когда в нем активированы электромагнитные поля.

Измерительный эксперимент

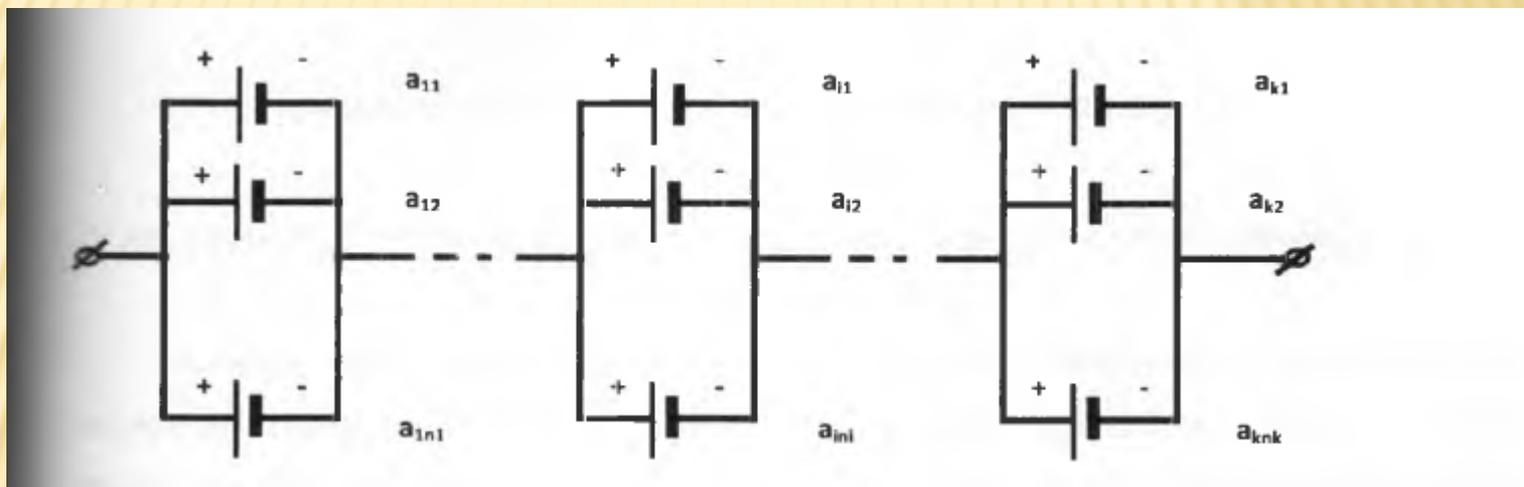
- ✘ Осесимметричный образец макробиообъект – кровь помещали в диэлектрический цилиндрический сосуд с упругими стенками $1,5 \text{ см}^3$ (диаметр сосуда 10 мм, высота 20 мм)
- ✘ Осесимметричный образец макробиообъект – кровь помещали в гибкую диэлектрическую трубку объемом $0,1 \text{ см}^3$ (диаметр трубки 1,5 мм, длина – 140 мм)
- ✘ Снятие пьезобиопотенциала осуществляли с помощью позолоченных электродов диаметром 1,5 мм и фотогальванометрического потенциометра напряжения Р 363 с ценой деления шкалы $C=10^{-9}$ В/дел и основной относительной погрешностью $\pm 1,5-6,0\%$



Последовательно-параллельная структура пьезобиопотенциала локального множества клеток.

Получены количественные характеристики пьезобиопотенциала:

- ✗ $\Delta U_{\Sigma} = (15 \pm 1,2)$ мВ для популяции клеток (ткани)
- ✗ $\Delta U_{\Sigma} = (14,5 \pm 7,5)$ мВ для одной клетки



Выводы по количественному эксперименту

1. Пьезоэффект в биологических макрообъектах является кумулятивным и появляется как в твердых, так и в жидких биологических структурах.
2. Пьезоэлектрический эффект в клеточных мембранах существует, однако величина его очень мала и находится приблизительно на уровне 0,02% по отношению к общему электрическому потенциалу клетки.
3. Экспериментально подтверждена адекватность последовательно-параллельной структуры кумулятивного пьезобиопотенциала в распределенных по длине клеточных образованиях (например, кровеносных сосудах)
4. Доказано на последовательно-параллельной модели клеточной макроструктуры и в эксперименте, что накопленный (кумулятивный) пьезобиопотенциал может достигать нескольких десятков мВ, что теоретически может провоцировать цепочку биохимических реакций и изменений в априори известных областях биологической ткани.

Суммация ранее проведенных нами исследований позволяет выделить следующие положения:

- изменение массы биологической ткани обусловлено возникающими в ней естественными и индуцированными напряжениями.
- возникновение в биологических тканях механических напряжений ведет к развитию деформаций их, а при достаточной упругости биологической ткани в ней возникают остаточные деформации.
- возникновение остаточных деформаций в биологических тканях ведет к изменению массы биологической ткани (гипер- и гипобиотическим процессам).

Учитывая энергетические характеристики ультрафиолетового излучения, процесс пьезобиосинтеза вполне можно рассматривать как фотосинтез в пограничном видимому свету диапазоне.

- ✘ Это подтверждают опыты Понаперума с облучением ультрафиолетом запаянной в ампулу синильной кислоты с образованием аденина и других азотистых оснований, а в сочетании с этилметафосфатом – АТФ.
- ✘ Спектральные максимумы пуринов и пиримидинов находятся в диапазоне с 240-290 нм (К. Саган).
- ✘ Гипотеза об адениновом фотосинтезе, где квант ультрафиолета поглощается адениновой частью АДФ с образованием ФАДФ, а затем АТФ (В.П. Скулачев и соавт.).

Концепция пьезобиосинтетического эффекта

- ✘ Пьезобиосинтез является частным вариантом явления электромагнитного биосинтеза, как и фотосинтез в зеленых растениях.
- ✘ В основе этого эффекта лежит явление флексоэлектрического эффекта Мейера.
- ✘ Пьезобиосинтез возможен в двух пограничных областях электромагнитного излучения от видимого света:
 - ✘ - Ультрафиолетовом диапазоне. Где «посредниками» преобразования энергии являются пьезоэлектрики ($10^{-7} - 10^{-9}$ м, $3 \times 10^{15} - 3 \times 10^{-17}$ Гц)
 - ✘ - Инфракрасном диапазоне, где «посредниками» преобразования энергии являются ипроэлектрики ($10^{-3} - 10^{-6}$ м, $3 \times 10^{11} - 3 \times 10^{14}$ Гц)

фотосинтез



Концепция пьезобиосинтетического эффекта

- ✘ Процесс синтеза фосфорсодержащих веществ, белков, липидов и углеводов является строго контролируемым процессом, движение их составляющих, ионов и воды осуществляется через поры в мембране с участием мембранных потенциалов, электролитных насосов и участием пьезоэлектричества в жидких кристаллах мембран, возникающего под воздействием мембранного потенциала либо механических напряжений.
- ✘ Процесс обратимого открытия и закрытия ионных каналов в мембранах клетки и органелл описывается явлением электропорации (сжатие и растяжение мембран определяют двунаправленность транспорта ионов, электропорация уменьшает деформации мембран и, возникающие поры под действием пьезоэффекта, самостоятельно закрываются).
- ✘ Ввиду малой толщины мембраны типичные для клеток трансмембранные напряжения в несколько десятков милливольт дают очень высокие напряженности электрического поля (примерно 10^5В/см), что сравнимо с критическим напряжением пробоя жидких углеводородов.
- ✘ В сильных электрических полях в мембранах и протоплазме наблюдается значительное увеличение проводимости и проницаемости бислоев.
- ✘ Процесс обратимого и необратимого электропробоя мембран сопровождается повреждением бислоя, что приводит к различной клеточной патологии.

Выводы

- ✘ В процессе естественных и индуцированных механических напряжений в биологических объектах возникают деформации жидкокристаллических структур (жидкие кристаллы липидов, некоторых белков и углеводов, которые в условиях деформации кристаллических решеток обладают свойством к пьезоэффекту).
- ✘ Возникающая поляризуемость мембран и протоплазмы, электрического потенциала обуславливает такие явления как электропорация и электропробой клеточных и субклеточных мембран, направленное движение ионов в мембране и клетке, клеточная патология.
- ✘ Учитывая колебательный характер деформаций жидкокристаллических структур, резонансные явления, имеются физические предпосылки для перемены знаков заряда и, следовательно, возникновения как постоянного, так и переменного токов в клетке.
- ✘ Благодаря металлопротеидам клеточные и субклеточные двухслойные мембраны выступают в роли биологических конденсаторов электрической энергии.
- ✘ Повышение энергии биологической системы, проявляющееся снижением концентрации фосфорсодержащих органических веществ (прежде всего, АТФ), а также концентрации ионов в мембране и протоплазме является предпосылкой для разряда биологических конденсаторов.
- ✘ При этом возникает явление электродиссоциации воды, солей с образованием свободных ионов, участвующих в формировании потенциалов покоя и действия. А также окислительно-восстановительных процессов в клетке, итогом которых является восполнение дефицита АТФ за счет его синтеза при окислительном и анаэробном фосфорилировании на АТФ-синтетазах (в условиях гипоксии за счет окисления липидов).
- ✘ Вновь синтезированная АТФ участвует в синтезе основных веществ в клетке, в том числе липидов, углеводов и белков.

A photograph of a multi-story building with a grid of windows, framed by autumn foliage. The building has a light-colored facade and a flat roof. The windows are arranged in a regular pattern. The foliage is in shades of green and yellow, suggesting an autumn setting. The sky is clear and blue.

*Благодарю
за
внимание*