

## 1. Провести анализ циклогенетического феномена пространственной и временной самоорганизации биосистем.

Циклогенетический феномен – явление пространственной и временной самоорганизации живых объектов. То есть, элементы организма имеют простую структуру, повторяющуюся по определенному закону, существуют повторяющиеся этапы в жизнедеятельности организмов.

Можно описать с помощью формулы:

$X_{n+1} = T(X_n)$ , где  $X$  – компонент (часть тела, процесс), а  $T$  – весовой коэффициент, определяющий форму взаиморасположения объектов или характер повторения жизненных процессов.

В зависимости от сложности коэффициента  $T$ , структуры могут быть сложными или простыми:

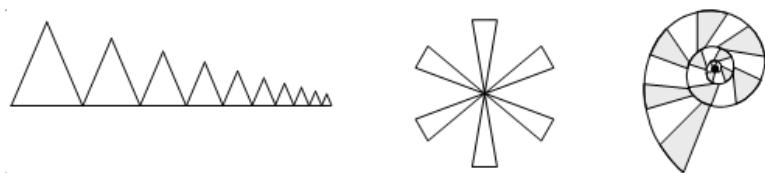


Рис. 1 – простые

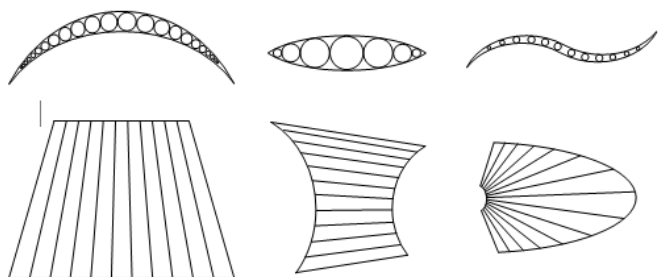


Рис.2 – сложные

Пример временной зависимости (периодичность линьки ракообразных):

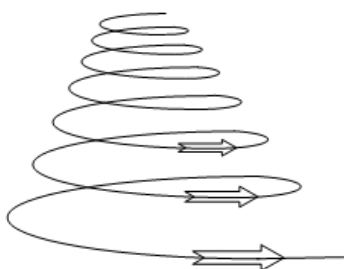


Рис.3 – периодичность линьки

Существует теория, что циклогенетическая система – одна из наиболее древних с эволюционной точки зрения система, ведь раньше всего организму нужно «знать» как расти.

## 2. Дать качественную оценку функциональных и морфологических изменений клетки под действием ионизирующего излучения.

Ионизирующими называются все излучения, которые при прохождении через вещество, в том числе и ткани организма, вызывают ионизацию и возбуждение атомов или молекул среды, образуя ионы-частицы, имеющие электрические заряды.

Степень воздействия на клетку определяется тремя факторами: от первичной повреждаемости объекта, от трансформации этого первичного повреждения в нарушение биологических функций и от восстановительной способности объекта.

Для того чтобы была реакция ионизирующего излучения на объект, нужно чтобы он находился в метаболически активном состоянии.

Воздействие на активную клетку вызывает физиологические изменения такие как изменение скорости деления как у самой клетки так и у нескольких поколений за ней. Также ионизирующее излучение может вызвать смерть по принципу «все или ничего».

### 3. Обосновать существование ритмов в биологических системах

Биологические ритмы — (биоритмы) периодически повторяющиеся изменения интенсивности биологических процессов и явлений. Они свойственны живой материи на всех уровнях ее организации — от молекулярных и субклеточных до биосферы.

Обоснованы биоритмы наблюдениями за жизнедеятельностью в первую очередь человека, затем рассчитаны теоретически. Являются основой адаптации к окружающей среде, охватывают все уровни жизнедеятельности биологического объекта.

Являются частью цитогенетического феномена (явления), а точнее его временной частью.

(этот вопрос не из метода, я сам понадумывал если что □ )

**1. Провести анализ фрактальных структур и их связь с хаотическим функционированием биосистем.**

В медицине лишь недавно начали анализировать хаотичность динамических процессов и фрактальные свойства физиологических структур. Эти исследования поставили под сомнение традиционные принципы медицины и открыли новые факты, которые могут служить ранними предвестниками заболевания, позволяющие с большим пониманием использовать физиотерапевтические методы лечения. Согласно традиционным воззрениям болезнь и старение объясняются слишком большой нагрузкой на систему, которая, вообще говоря, является хорошо отрегулированным механизмом. То есть нагрузка снижает степень упорядоченности, провоцируя неустойчивые реакции или нарушая нормальные периодические ритмы процессов в организме.

Исследования последних лет показали, что сердце и другие физиологические системы могут действовать весьма беспорядочно, когда организм молод и здоров. В противоположность интуитивным представлениям более регулярное функционирование иногда сопряжено со старением и заболеванием. Нерегулярность и непредсказуемость являются важными характеристиками здоровья. А снижение изменчивости и возникновение ярко выраженной периодичности причинно связаны со многими заболеваниями. Нелинейная динамика, изучающая системы, реагирующие на внешние воздействия нелинейным образом, позволяет лучше понять такие явления как эпидемии, кинетика биохимических реакций, дифференцировку клеток. Кроме того, нелинейная динамика обнаружила такое явление как детерминистский хаос, то есть детерминированная нелинейная система, имеющая лишь несколько простых элементов, строго определённой величины, ведёт себя неупорядоченно, практически случайным образом. Детерминистский хаос относится к ограниченной случайности, которая может или ассоциироваться или порождать фрактальную структуру. Где бы в природе в результате хаотического процесса не формировался тот или иной элемент природной среды, повсюду с большой вероятностью обнаруживаются и фракталы. В организме человека множество фракталоподобных структур – кровеносные сосуды и различные протоки, нервная система, дыхательные пути по которым воздух поступает в легкие.

Фрактальные структуры в человеческом организме являются результатом медленной динамики эмбрионального развития и эволюции. Весьма возможно, что эти процессы порождены детерминистским хаосом. Наиболее известный пример – ритм сердца. При прослушивании пульса, ритм сердечных сокращений кажется устойчивым и неизменным. Поэтому кардиологи традиционно описывают нормальную работу сердца в виде синусоидальной кривой. Согласно концепции гомеостаза, вариации сердечного ритма – это просто временные ответные реакции на флуктуации в окружающей среде. А во время заболевания или в результате старения организма становится труднее поддерживать постоянный сердечный ритм и амплитуда его вариации возрастает. Однако совершенно другая картина обнаруживается при тщательной регистрации нормального сердечного ритма удар за ударом в течении суток. Этот график выглядит «рваным», нерегулярным и на первый взгляд случайным. Однако если отложить данные о частоте сердечных сокращений в нескольких временных масштабах, то выявляется некоторая закономерность. Если поведение кривой на участке в несколько часов, то на графике можно найти более быстрые флуктуации, диапазон и последовательность которых похожа на соответствующие характеристики исходного графика, охватывающего более длительный период. В ещё более мелком временном масштабе (минуты) можно обнаружить ещё более быстрые флуктуации, которые опять таки напоминают флуктуации на исходном графике.

Флуктуации ритма в различных масштабах времени выглядят подобными сами себе точно так же как ветви геометрического фрактала. Это наблюдение свидетельствует о том, что механизм, управляющий сердечным ритмом, по своей сути может быть хаотическим.

## 2. Сравнить действие температурных и механических воздействий на клетку.

В ряде работ показано, что при понижении температуры (не ниже  $0^{\circ}$ ) частота индуцированных мутаций повышается. Возможно, что наблюдаемое температурное влияние связано с кислородом, растворимость которого в воде увеличивается с понижением температуры, а это может привести к увеличению кислородного эффекта. На сложную связь температурного эффекта с кислородом указывают данные экспериментов с дрозофилой, где показана недейственность температурных изменений в анаэробических условиях. Возможно с кислородным влиянием связан и защитный эффект подогревания до  $85^{\circ}\text{C}$  сухих семян ячменя перед облучением. Этот предварительный прогрев резко снижает прорыв хромосомных aberrаций.

Однако имеются данные, говорящие о наличии температурного эффекта, заведомо не связанным с изменением концентраций кислорода. На пыльце традесканции было показано, что повышение температуры от  $-192^{\circ}$  до  $0^{\circ}$  увеличивает темп мутаций, в частности при  $192^{\circ}$  находится выход только половины того количества aberrаций, которое наблюдается при  $25^{\circ}$ .

Температурные изменения могут влиять на темп мутирования самыми различными путями, поскольку практически все стороны клеточного обмена зависят от температуры. Однако нет достаточных экспериментальных данных для конкретного описания механизма мутагенного действия температуры.

Исходя из априорных соображений, можно было предполагать, что механические воздействия на ядерный аппарат клеток, приводящие к сближению точек разрыва хромосом, обусловят увеличение выхода хромосомных перестроек. Было установлено, что центрифугирование (2080 об/мин) микроспор традесканции во время облучения примерно удваивает частоту возникновения хромосомных и хроматидных обменов. Позже удалось показать, что центрифугирование после облучения точки эффективно. Вместе с тем, центрифугирование за 15 мин. до облучения уменьшает выход aberrаций в 2-3 раза. Этот последний факт сделан вероятным предположение о том, что влияние центрифугирования не сводится целиком к сближению точек разрывов хромосом. При центрифугировании клеток в анаэробических условиях ( $\text{N}_2$ ) до или после, или во время облучения оказалось неэффективным. Представляет также интерес тот факт, что озвучивание (9100 кол в сек) само по себе не приводящее к образованию хромосомных aberrаций в микроспорах традесканции, увеличивает эффективность рентгеновского облучения на 30 %.

## 3. Обосновать применение ультравысоких частот в физиотерапии.

В клинической практике широко применяются физиотерапевтические методы лечения, в том числе излучения миллиметрового диапазона длин волн низкой (нетепловой) интенсивности, получившие название – КВЧ терапия. Почти за сорокалетнюю историю применения КВЧ-терапии накоплен обширный эмпирический материал, который до настоящего времени не имеет теоретического обоснования. Одним из основных невыясненных является вопрос о “терапевтических” частотах, то есть тех частотах, на которых воздействие КВЧ излучения наиболее эффективно влияет на биологические объекты и на человека. Данный вопрос имеет не только теоретический интерес, он определяет идеологию создания физиотерапевтической аппаратуры. Среди небольшого количества предположений о природе терапевтических частот наиболее реалистичным, основанным на физической аргументации, является предположение о том, что данные частоты группируются в области резонансного поглощения кислорода в атмосфере. Эта гипотеза основывается на том, что в области очень высокого поглощения электромагнитного излучения (ЭМИ) живые организмы не имеют адаптационных механизмов для реагирования на естественное воздействие. Поэтому искусственные поля, созданные в данном диапазоне частот, оказывают максимальное действие на биологические объекты. Таким образом, кривые затухания электромагнитных излучений крайне высоких частот в атмосфере коррелируют с распределением индивидуальных терапевтических частот при КВЧ-терапии больных язвенной болезнью желудка по их сенсорным ощущениям. На рис.5.22, приведены кривые частотных зависимостей поглощения волн в атмосфере и частотных областей

субъективных ощущений больными КВЧ излучения. Попробуем объяснить существования указанных терапевтических частот. Ткани живых организмов содержат до 80% воды, и поэтому неудивительно, что резонансные спектры поглощения в диапазоне КВЧ воды и биологических тканей практически совпадают. Следует ожидать, что и другие характеристики воды являются определяющими для живых тканей. На фазовых границах вода - газ, вода - твердое тело кластеры воды ориентируются вдоль границы, образуя структурированную систему, имеющую общие колебания. Причиной этих колебаний являются тепловые флуктуации молекул воды, которые покидают кластерные структуры и вновь их заполняют, т.е. динамическое равновесие кластеров. Частота колебаний, свойственная кластерным структурам на поверхности вода-газ, составляет  $f = 6,78$  ГГц. Синхронность колебания кластеров воды приводят к появлению электромагнитного излучения за счет перемещения диполей воды с той же частотой. При комнатной температуре  $T = 20^\circ\text{C}$  в воздухе над фазовой границей излучение представляет собой плоскую волну, длина которой  $\lambda = 45$  мм, а в воде  $\lambda = 5$  мм.

Внешние электромагнитные излучения КВЧ диапазона оказывают тем большее воздействие на кластеры воды, чем больше энергии передается кластерам при условии, что эта энергия больше порогового значения и меньше энергии разрыва, препятствующей образованию кластеров. Это означает, что на границе фаз волновые вектора должны иметь строго определенные соотношения, при этом максимальная передача энергии происходит при совпадении  $K_{\text{воздуха}} = K_{\text{воды}}$ . Таким образом, внешнее излучение, имеющее длину волны в воздухе  $\lambda = 5$  мм, будет максимально взаимодействовать с кластерами воды на поверхности жидкости. Для усиления действия терапевтических частот на соответствующей длине волны воды  $\lambda = 5$  мм следует усилить дополнительными факторами (например, ультразвуком) колебания с длиной волны соответствующей нескольким длинам волн в воде.

## 1. Дать оценку применения теории информации в биологии.

Многие считают, что информационные процессы противопоставляются энергетическим. Основной ошибкой в качественном анализе является признание «не силового» характера информационных воздействий, отрыв информации от энергии и массы взаимодействующих тел. Информация есть одним из специфических способов энергетического взаимодействия систем. Шеннон экстраполировал понятия и формулу термодинамической энтропии на информацию, переменяв знак («+» на «-») и убрав постоянную Больцмана. Количество информации интерпретируется через неопределённость, мерой которой является энтропия. Информация:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i ;$$

Энтропия:

$$S = -k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i ; \quad S = k \ln W$$

W – вероятность выбора, p – вероятность выбора.

Недостатком данного определения информации является то, что предварительно сложно или нельзя определить вероятность событий. Информационность систем выражается в том, что незначительное воздействие приводит к освобождению большого количества энергии. Отсюда делается вывод о «не силовом» характере минимального воздействия. Система должна быть в критическом состоянии, чтобы на неё можно было действовать минимальным сигналом. Информационное воздействие не является причиной преобразования в системе, а лишь его поводом. В реальных отражающих системах свободная энергия воздействия не непосредственно переходит в энергию разрядки отражающей системы, а претерпевает ряд преобразований.

I – воздействие свободной энергии внешней системы на внутреннее состояние (критичность) отражающей системы носит всегда силовой характер, её величина зависит от степени критичности (уровня свободной энергии) отражающей системы. Это количественный аспект информации.

II – свободная энергия воздействия, чтобы носить информационный характер (обладать значимостью) должна иметь сродство со свободной энергией, отражающей (информирующей) системой. Это качественный аспект информации. Прежде всего, уже само существование живых организмов предполагает какое-то их обособление от внешней среды, выделение из неё. Иначе говоря, между организмом и средой должна иметься какая-то граница. Но в то же время эта граница не должна быть абсолютной, она не должна полностью изолировать организм: ведь при полной изоляции он, во-первых, не сможет даже энергетически взаимодействовать со средой, то есть получать от неё энергию для своего функционирования, а во-вторых, может оказаться неприспособленным к изменениям, происходящим в этой среде, и поэтому вполне может погибнуть в изменившихся условиях. Значит, границы между организмом и внешней средой должны одновременно и обособлять организм, и обеспечивать ему возможность внешних взаимодействий. Одни из первых изобретений, сделанных природой в этом направлении, стала мембрана – тонкая плёнка, способная разделить две среды. Благодаря своей полупроницаемости мембрана в определённой степени выполняет «изолирующие» функции. Во внешней среде могут происходить значительные перемены концентрации каких-то веществ, в то же время в защищённой мембраной области концентрация этих же веществ или не меняется или меняется крайне незначительно. Иными словами, хаосу и неупорядоченности внешней среды противостоит – за оградой мембраны – упорядоченности, организованности, то есть низкая энтропия. Несмотря на такую изоляцию, мембрана всё же даёт возможность взаимодействия с внешней средой – получения из неё нужных веществ, энергии и информации. Благодаря появлению мембраны живое смогло создать для себя свою собственную «среду обитания», и в пространстве внешнего мира появились островки, на территории которых энтропия уменьшилась – возросла организованность материи, могущей теперь на этих островках самоуправляться, самосовершенствоваться. Это был очень важный информационный



скачок, и затем во всём дальнейшем ходе эволюции, это изобретение ещё много раз имело своеобразные «отклики» - повторения в иных формах: панцирь, волосяной покров, нора...

## 2. Сравнить чувствительность к радиационному воздействию различных фаз клеточного цикла.

Клетки, вступающие в деление (начало М-фазы), благополучно завершают его даже после весьма массивного облучения. Максимальную задержку деления испытывают клетки, облученные в конце интерфазы (G2), по мере же приближения момента облучения к началу интерфазы (G1) задержка деления, вызванная данной дозой, уменьшается. На рис.3.13 приведены результаты опытов, выполненных на яйцеклетках морского ежа, которых облучали разными дозами рентгеновского облучения в разные сроки после оплодотворения, но до наступления первого дробления. Максимальная задержка деления совпадает с G2 -циклом и никак не может быть связана с

нарушением синтеза ДНК.

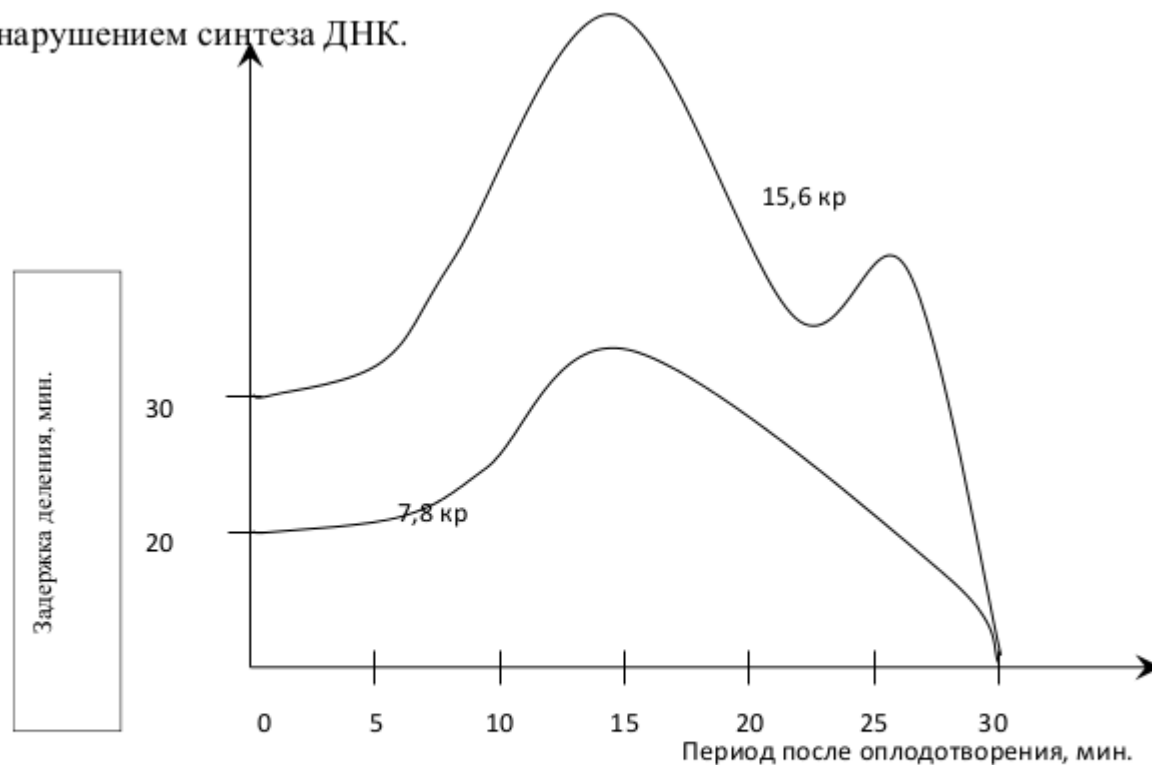


Рис. 3.14. Результаты опытов, выполненных на яйцеклетках морского ежа, которых облучали разными дозами рентгеновского облучения в разные сроки после оплодотворения, но до наступления первого дробления

Фаза синтеза ДНК (S-период) весьма устойчива к облучению и нарушается лишь при дозах, существенно превышающих те, которые препятствуют вступлению в S- фазу клеток, облученных в раннем периоде G1. Максимальная задержка синтеза ДНК наблюдается в клетках облученных в начале их жизненного цикла, по мере же приближения к фазе S их устойчивость к облучению возрастает. Особенности действия ионизирующих излучений на синтез ДНК еще раз подтверждают, что влияние облучения на этот процесс и на сроки вступления клетки в митоз определяется, по-видимому, независимыми механизмами. Наглядным примером этому может служить появление в облученных организмах гигантских полиплоидных клеток - клеток, синтезирующих ДНК, но утративших способность к делению. Выход хромосомных aberrаций обычно возрастает по мере приближения момента облучения к S-фазе, затем уменьшается (G2), а при облучении клеток, уже вступивших в деление, достигает второго максимума. Можно полагать, что чувствительность клеток к структурным повреждениям хромосом протекает по мере приближения S-фазы, а затем резко идет вниз, чувствительность же к «физиологическим» изменениям начинает проявляться после завершения S-фазы и достигает максимума в начале митоза.

### 3. Дать оценку норме и патологии в биосистемах.

Норма и патология. Известно, что организм может находиться в двух состояниях - нормы и патологии. Эти состояния присущи биосистемам любого иерархического уровня. Состояние нормы является естественным с точки зрения жизнедеятельности. Оно относительно устойчиво и вместе с тем динамично. По отношению к человеку норма выражается в здоровье, и по уставу ВОЗ определяется как состояние полного физического, душевного и социального благополучия, а не только как отсутствие болезней и физических дефектов. Состояние здоровья предусматривает нормальное функционирование биосистем всех иерархических уровней организма. В то же время патология любого уровня в силу взаимосвязи и интегрирования всех иерархических систем приводит к патологии всего организма. Таким образом:

1. состояние нормы систем всех уровней является необходимым и достаточным условием здоровья всего организма;
2. состояние нормы систем одного из уровней является необходимым, но не достаточным условием здоровья всего организма;
3. состояние патологии систем одного из уровней является необходимым и достаточным условием патологии всего организма.

По определению И.П.Павлова, патологическое состояние - «...это встреча, соприкосновение организма с каким-либо чрезвычайно важным условием, вернее, с необычным размером ежедневных условий». Жизнь организма возможна благодаря широкому спектру эволюционно приспособительских реакций, возникающих в ответ на действия внешней среды. Воздействия окружающей среды на организм, которые могут привести к патологии, условно можно разделить на косвенные и прямые. В результате косвенных влияний среды могут произойти нарушения нормальности функционирования какой-либо системы организма, влекущие за собой снижение резистентности. На этом фоне может развиваться патология любой этиологии, в том числе неспецифическая для данного фактора среды (например, заболевания, вызванные условно патогенными микроорганизмами в результате переохлаждения). К прямым воздействиям среды на организм, приводящим к соответствующей патологии, можно отнести вещественные (химические вещества, микроорганизмы), энергетические (радиация, температура), механические, информационные (стрессовые ситуации, самовнушение). Степень отклонения от нормы, вызванная внешними факторами, зависит от силы и кратности воздействия и от адаптационных возможностей организма. Оно может проявляться как в нарушении функции систем любого уровня иерархии, так и в нарушении структуры составляющих их элементов. Чисто функциональное нарушение является более динамичным и по природе обратимым. Куммуляция обратимых функциональных нарушений, связанная с их продолжительностью и частотой, может привести к структурным изменениям, которые более статичны и по природе менее обратимы.



# 1. Обосновать изменение энтропии в открытых системах живых организмов.

Для достижения результата организм должен обеспечить максимум взаимной информации между условиями среды и реакциями

$$I(X; Y) = \max_{X; Y}$$

Символы  $X$ ,  $Y$  под обозначением максимума означают, что организм может добиваться этого максимума путём выбора как своих реакций  $Y$ , так и в какой-то мере путём выбора стимулов (например, меняя среду обитания).

В первой формулировке принцип означает: организм стремится приспособиться к все большему разнообразию условий внешней среды  $H(X)$ , сохранив при этом постоянство, то есть минимальное разнообразие результатов  $H(X/Y)$ . Формулировка говорит о приспособленности организма к среде.

Во второй формулировке максимум информации означает стремление увеличить безусловное разнообразие реакций  $H(Y)$ , поскольку это его оружие в борьбе за результат, и в то же время уменьшить разнообразие условий  $H(Y/X)$ , то есть неоднозначность, неточность ответов на конкретный стимул. Вторая формулировка характеризует такое свойство организма как мастерство равное сумме разнообразия и точности реакции.

Живое в процессе эволюции стремится к максимизации информации, для чего ему нужно:

а) усложнить свою внутреннюю структуру (систему управления, занимающуюся переработкой информации – максимальное увеличение разнообразия реакции).

б) сохранить, защитить от внешних воздействий созданием достаточно сложной внутренней структуры, поддержка гомеостаза.

изобретения природы – мембрана и циклическая организация процессов это не просто две важных узловых момента эволюции. Это два принципиально различных способа, посредством которых может реализоваться принцип максимума информации.

живой организм, находящийся в условиях стационарного состояния, представляет собой открытую систему, которая не отличается от термодинамически открытой неживой системы. Такие условия имеются у взрослого организма, не меняющего больше свою массу и находящегося в окружающей среде с постоянными параметрами.

Рассмотрим организм не в фазе стационарности взрослой особи, а в предшествующей фазе растущего организма. Фаза роста начинается с рождения дифференцированного организма и кончается достижением состояния взрослой особи.

Молодое теплокровное животное выделяет больше тепла, рассчитанного на единицу массы по сравнению со взрослым организмом.

Чем меньше теплокровное животное, тем больше оно выделяет тепла, рассчитанного на единицу массы

чем больше животное, тем меньше оно выделяет тепла на единицу массы. Производство тепла, рассчитанное на единицу поверхности организма приблизительно постоянная величина для всех теплокровных животных "от мыши до слона".

экспериментально показано, что в эмбриогенезе высокоразвитого теплокровного организма начиная с оплодотворения яйцеклетки и кончая рождением животного происходит непрерывное нарастание интенсивности теплового потока из единицы массы дифференцирующегося организма. Это положение может быть наглядно представлено при графическом изображении всех трех фаз онтогенеза теплокровного животного в виде функции удельного производства энтропии от времени.

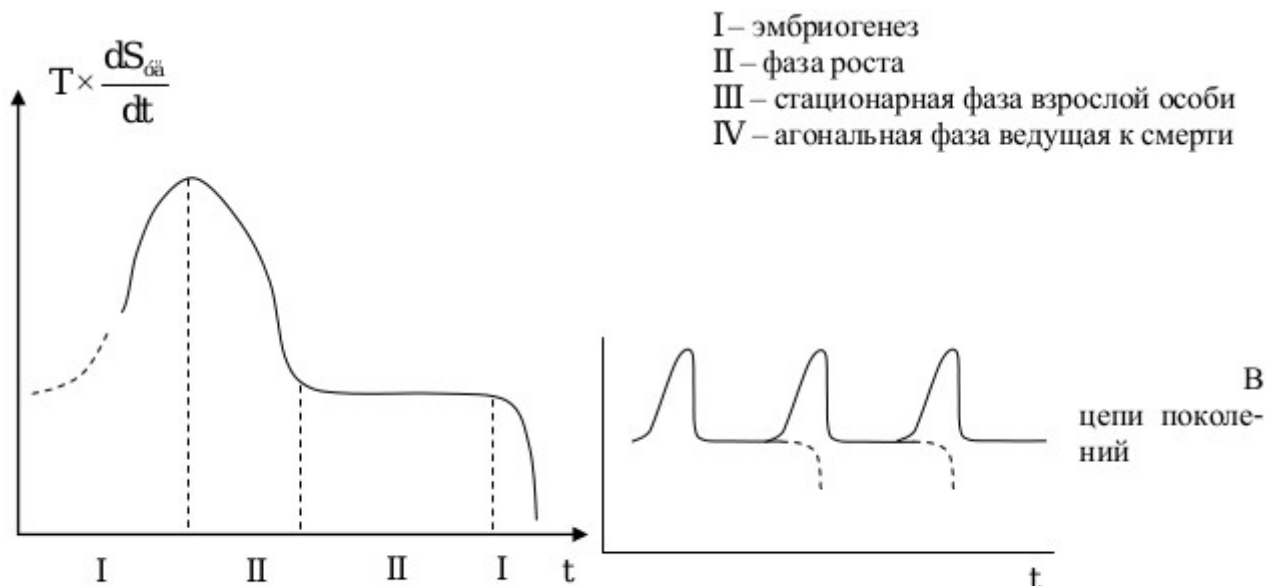


Рис.

1.15. Зависимость удельного производства энтропии от фазы жизни

В фазе эмбриогенеза, когда происходят процессы дифференциации живой материи, происходит непрерывное нарастание удельного производства энтропии. Нарастание удельного производства энтропии в ходе эмбриогенеза является энергетическим выражением развития живой материи, образующей все более сложные органы, которые выполняют все целесообразные специфические функции.

Положение еще более осложняется, если система открыта и через нее проходит поток энергии и вещества. Энергия при этом распределяется по степеням свободы в общем случае неравномерно, и это зависит от того, как именно протекает энергия. В том числе приобретают ее и относительно устойчивые степени свободы. Их движения уже не будет случайным и на них эргодическая гипотеза распространяться не может.

## 2. Провести анализ эффекта радиационного облучения клетки от дозы.

Задержка деления наблюдается у всех клеток облученной популяции, независимо от их дальнейшей судьбы, что характерно для весьма различных объектов.

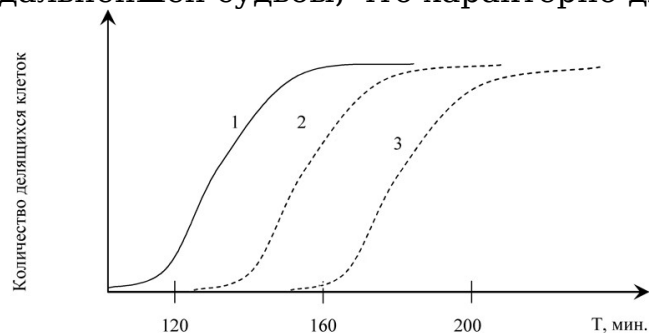


Рис. 3.15. Кривые первого пострadiационного деления имеют почти такую же форму, что и контроль.

С увеличением дозы возрастает не доля реагирующих особей, а величина реакции (задержка) каждой облученной клетки.

Ответственным за задержку клеточного деления служит поражение при облучении массовых структурных элементов клеток и величина эффекта определяется числом таких пораженных структур.

Продолжительность задержки клеточного деления - это мера восстановления клетки от вызванных радиацией разрушений. Восстановление способности делиться может быть связано с синтезом каких-то макромолекул.

Летальные эффекты облучения отличаются от задержки размножения облученных клеток, прежде всего тем, что они затрагивают лишь часть особей облученной популяции. Даже при относительно невысоких дозах среди облученных клеток можно встретить смертельно пораженные особи, и при их очень высоких дозах некоторая доля облученных клеток, как правило, выживает.

Типичные кривые выживания имеют три основные формы:

1 - экспоненциальные кривые (логарифм  $S$  линейно уменьшается с ростом дозы; 2 - S-образные кривые, состоящие из изогнутой верхней части и прямолинейного отрезка; 3 - кривые с «атипичным» изгибом «хвостом» при высоких дозах облучения.

Гибель клеток без предварительного размножения, или интерфазная гибель проявляется при очень высоких дозах (кривая 1, доза 640 кр). Часть клеток гибнет после одного, реже двух почкований (кривая 2, доза 97-480 кр).

Многие нелетальные эффекты облучения, такие, нарушение проницаемости, «липкость» («физиологические изменения») хромосом, задержка клеточного деления, связаны, по-видимому, с повреждениями массовых структурных элементов клеток и при относительно невысоких дозах являются временными, переходящими.

значительная доля первичных повреждений возникает как бы в «потенциальной» форме, это - потенциальные повреждения. Для реализации этих потенциальных повреждений необходима метаболическая активность клетки, так же, как и для восстановления. реализация повреждений, вызывающих рецессивные летали, связана с синтезом ДНК.

Согласно классическим представлениям хромосомные aberrации возникают по схеме «сначала разлом, затем рекомбинация». По этой схеме прохождение ионизирующей частицы вызывает разлом хромосомной нити, образование фрагментов. Эти фрагменты либо сохраняются до момента деления, либо восстанавливаются. Если восстановление происходит правильно, повреждение исчезает. Неправильное восстановление (рекомбинация) приводит к образованию самых различных aberrаций, в том числе и мостов. Однако разрывы и рекомбинации возникают не при прохождении ионизирующей частицы, а в более поздние сроки, возможно в процессе редупликации облученных хромосом: с увеличением дозы возрастает не столько величина проявления каждой элементарной единицы реакции, сколько количество таких единиц;

Если облучить клетки умеренными дозами, и изучать их в покоящемся состоянии тотчас после лучевого воздействия, никакими способами нельзя установить, в каких клетках произошли поражения уникальных структур, а в каких нет. Чтобы выявить эти поражения, облученные клетки необходимо поместить в условия, благоприятные для роста и размножения, т.е. в условия, способствующие реализации и проявлению первичных повреждений.

Изучение зависимости возникновения рецессивных, летальных, видимых и биохимических мутантов у самых разнообразных объектов в подавляющем числе случаев показало однозначную картину: кривая доза - эффект имеет линейный характер (рис.3.21).

### 3. Дать оценку электрическим свойствам биотканей на основе эффекта Максвелла –Вагнера.

Эффект Максвелла-Вагнера просто объяснить на модели неоднородного материала, помещенного в плоскостной конденсатор. Материал состоит из однородных слоев, параллельных пластин. Слои толщиной  $d_1$  и  $d_2$  имеют диэлектрические постоянные  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  и проводимость  $G_1$  и  $G_2$ , которые для простоты будем считать вещественными и независимыми от частоты. "А" площадь конденсатора  $d = d_1 + d_2$ . Адмитанс конденсатора равен  $Y = [G + j \omega \epsilon_0 \epsilon_r(\omega)] A/d$ .

В результате эффекта Максвелла-Вагнера значение низкочастотной проницаемости  $\epsilon_{rs}$  неоднородного материала оказывается больше, чем значение проницаемости каждой отдельной части  $\epsilon_{r1}$  и  $\epsilon_{r2}$ . Например, если  $G_2 \gg G_1$  и  $\epsilon_{r1}=1$ , то отношение  $\frac{\epsilon_{rs}}{\epsilon_{r1}}$  много больше единицы при  $d/d_1 \gg 1$ .

Эффект Максвелла-Вагнера в суспензии биологических клеток намного сложнее, чем в двухслойном конденсаторе. Однако анализ этого эффекта в обоих случаях похож. Для качественного объяснения релаксации в суспензии вводится эквивалентная схема, приближенно описывающая среднюю биологическую клетку в суспензии.

## 1. Провести анализ законов термодинамики и их применимости к живым объектам.

Термодинамика – это наука о закономерностях превращения энергии при ее переносе между телами в форме тепла и работы. Термодинамика позволяет с феноменологических позиций (первый и второй законы термодинамики) оценить энергетические процессы в биосистеме и процессы энергообмена с окружающей средой. Согласно первому закону поглощенная системой теплота из окружающей среды идет на увеличение внутренней энергии и совершение работы данной системой:  $dQ = dU + dA$ , где  $dU$  – внутренняя энергия,  $dA$  – совершенная работа. Экспериментальные исследования подтвердили справедливость этого закона для биологических систем. Из второго закона термодинамики следует, что изолированная физическая система самопроизвольно и необратимо стремится к состоянию равновесия, т.е. к максимуму энтропии (энтропия – мера неопределенности состояния системы). Аналитически этот закон представляют в таком виде:  $dQ = dS \cdot T$ , где  $dS$  – изменение энтропии,  $T$  – абсолютная температура системы. Поэтому изменение энтропии изолированной системы всегда будет положительной величиной:  $dS = dQ/T \geq 0$ .

Однако биологическая эволюция (согласно учению Дарвина) шла в направлении возрастания сложности биологических систем, т.е. упорядоченности, от одноклеточных к многоклеточным организмам, вплоть до человека. Это можно объяснить, если считать живой организм открытой термодинамической системой, находящейся в состоянии динамического равновесия с окружающей средой. Тогда в интервале времени, значительно меньшем, чем продолжительность жизни отдельной особи, можно полагать энтропию биологического объекта неизменной, т.е.  $S = \text{const}$ , а следовательно,  $dS = 0$ . Представим изменение энтропии как сумму слагаемых:

$$dS = diS + deS,$$

где  $diS$  – изменение внутренней энтропии,  $deS$  – приток или отток внешней энтропии. Поскольку первое слагаемое всегда положительное, т.е.  $diS > 0$ , как для любого объекта, поглощающего энергию, то для поддержания энтропии неизменной второе слагаемое должно быть отрицательным:  $deS < 0$ .

Таким образом, живые организмы выполняют работу против уравнивания с окружающей средой за счет образования сложных молекулярных структур, получая отрицательную энтропию из окружающей среды. Энергию для выполнения этой работы биообъекты получают извне автотрофно (от Солнца путем фотосинтеза) или путем трофических связей, как было сказано выше.

## 2. Сравнить процессы инактивации и гибели клеток при радиационном воздействии

Летальные эффекты облучения отличаются от задержки размножения облученных клеток, прежде всего тем, что они затрагивают лишь часть особей облученной популяции. Даже при относительно невысоких дозах среди облученных клеток можно встретить смертельно пораженные особи, и при их очень высоких дозах некоторая доля облученных клеток, как правило, выживает. Летальное действие ионизирующих излучений на микроорганизмы и клетки в культуре изучают, определяя относительное количество клеток популяции, облученной той или иной дозой, способностью к «бесконечному» размножению. Эту величину называют «выживаемостью» ( $S$ ) и выражают в процентах или долях единицы.

Типичные кривые выживания имеют три основные формы:

- 1 - экспоненциальные кривые (логарифм  $S$  линейно уменьшается с ростом дозы;
- 2 - S-образные кривые, состоящие из изогнутой верхней части и прямолинейного отрезка;
- 3 - кривые с «атипичным» изгибом «хвостом» при высоких дозах облучения.

Кривые двух первых форм характерны для гомогенных популяций, т.е. идентичной клетки. Кривые третьей формы отражают гетерогенность облучавшейся популяции, например смеси находящихся и почкующихся дрожжей.

Параметр зависимости  $S$  от  $D$  можно очень хорошо объяснить с позиции принципа попадания. Так, экспоненциальную кривую выживания (рис.3.15) можно записать: где  $m$  -

число чувствительных участков внутри клетки, одного попадания в любой из которых достаточно, чтобы вызвать ее гибель;  $V$  - коэффициент, пропорциональный объему одного такого участка. Кривую 2 можно описать уравнением:  $S = e^{-nV}$ , соответствующем «много одноударных мишеней», где  $n$  - число мишеней, которые необходимо поразить, чтобы вызвать гибель клетки. При этом следует иметь в виду, что даже такой простой объект, как *E.coli*, может давать кривые выживаемости различных наклонов и форм в зависимости от состава среды, снабжения  $O_2$ , температуры и возраста культуры. Все это означает, что судить с очень большой осторожностью. Конечно, это не свидетельствует о бесплодности принципа попаданий. Напротив, строгая формулировка необходимости конкретных знаний особенностей строения того или иного объекта радиобиологических экспериментов возможна лишь на основании этого принципа.

Мы подробно останавливались на способах выражения выживаемости клеток потому, что полную характеристику радиочувствительности какого-либо объекта можно получить, лишь определив кривую его выживания. Любая такая кривая полностью характеризуется лишь двумя величинами, одна из которых « $n$ » служит мерой тех «подпороговых» повреждений, накопление которых еще не угрожает клетке гибелью, а вторая  $V$  - мерой скорости нарастания летального эффекта с дозой облучения. На рис.3.16 мы видим, что условие воспитания клеток до и после облучения влияют на наклон и степень изогнутости кривых доза-эффект.

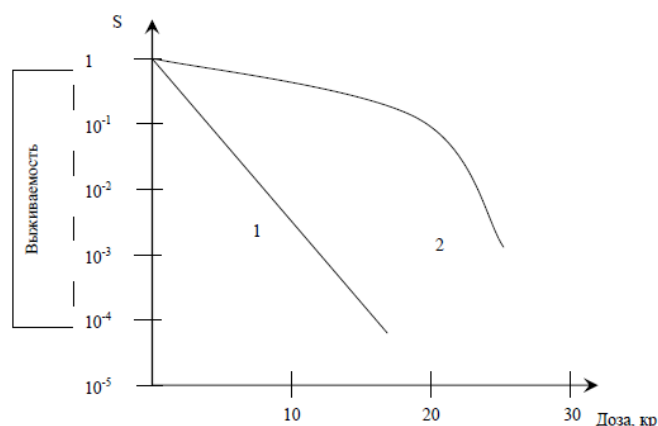


Рис. 3.16. Выживаемость клеток *E.coli*, облученных рентгеновскими лучами  
1 – на обычной среде;  
2 – на среде обогащенной глюкозой

Радиочувствительность клеток различных видов микроорганизмов, высших животных и растений варьирует в чрезвычайно широких пределах. В чем причина различий радиочувствительности разных клеток, сказать сейчас трудно, вероятнее всего, суть дела состоит в разнообразии и эффективности действия тех систем, которые связывают поражение чувствительных объемов с инактивацией реагирующих единиц и проявлением соответствующих единиц реакции. Так, выращивая ряд штаммов *S cerevisiae* (дрожжи) различной плоидности, от гаплоидного до гексаплоидного, все клетки этих штаммов были практически идентичны в соотношении качественной структуры их генетического аппарата и отличались только по числу хромосомных наборов. Клетки этих штаммов сильно различались между собой по радиочувствительности, причем устойчивость их к облучению резко возрастала при переходе от гаплоидности к диплоидности, а затем с дальнейшим увеличением числа хромосомных наборов, постепенно убывала.

При этом у дрожжевых клеток, независимо от их плоидности, возникают при облучении два типа летальных мутаций – рецессивные и доминантные. Рецессивные летали, обычно, связаны с точковыми нарушениями хромосомного аппарата, а доминантные летали - с более серьезными повреждениями хромосом (крупные хромосомные абберации). Поэтому для объяснения радиочувствительности дрожжей от плоидности можно предположить, что данная зависимость определяется изменением удельной роли рецессивных и доминантных леталей в инактивации облученных клеток с увеличенным числом хромосомных наборов.

Рецессивные мутации возникают при облучении значительно чаще, чем доминантные; в гибели гаплоидных клеток летали играют весьма небольшую роль. Однако рецессивные летальные мутации не могут приводить клетку к гибели при наличии в ее генетическом аппарате нелетальных аллелей. Количество доминантных леталей - события независимых и мутации этих типов служат основной причиной гибели клеток, то это объясняет зависимость эффект-доза для полиплоидных клеток дрожжей. Однако зависимость радиочувствительности от структуры генетического аппарата не на всех объектах поддается такому простому объяснению.



Так, высшие растения, отличающиеся по числу хромосомных наборов, имеют радиочувствительность, заметно снижающуюся с числом хромосомных наборов, что связано с эффектом восстановления.

Почти все «ненормальные» клетки испытывают весьма существенные нарушения размножения. «Пораженные» клетки, также не представляют однородной энергии, и сильно отличаются по характеру и сроку гибели. На рис.3.17 видно, что часть клеток погибает в основном после 4-5 циклов почкования (кривая 3, доза 16 кр).

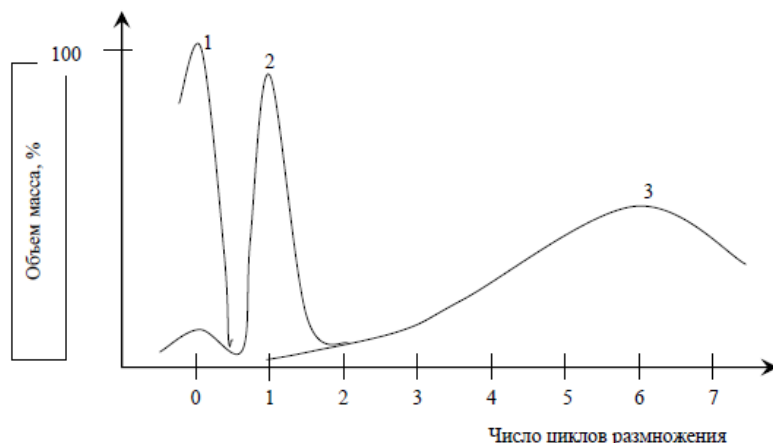


Рис. 3.17. 1 – доза 640 кр; 2 – доза 97-480 кр; 3 – доза 16 кр.

Гибель клеток без предварительного размножения, или интерфазная гибель проявляется при очень высоких дозах (кривая 1, доза 640 кр). Часть клеток гибнет после одного, реже двух почкований (кривая 2, доза 97-480 кр).

В интерфазной гибели клеток нет структурных изменений хромосом.

Клетка с крупными структурными нарушениями хромосом может делиться один или несколько раз, а затем погибнуть в силу механических причин, либо вследствие утраты значительных участков генома.

Структурные изменения хромосомного аппарата, проявляющиеся при вступлении в митоз клеток, облученных в интерфазе, обычно связывают с повреждениями, вследствие ионизации, отдельных узколокальных участков хромосом. Эти повреждения могут вызывать разрывы хромосомных нитей или рекомбинациям.

### 3. Дать оценку электрическим и магнитным свойствам эритроцитов.

Огромный ответ, скинут отдельным файлом

## 1. Провести анализ структуры и функций биосистем.

Обычно различают три вида систем:

1) **изолированные**, которые не обмениваются с соседними ни веществом, ни энергией,

2) **закрытые**, которые обмениваются с соседними энергией, но не веществом ,

3) **открытые**, которые обмениваются с соседними и веществом, и энергией.

Практически все природные системы относятся к типу открытых. Существование систем немисливо без **связей**. Открытые делят на **прямые** и **обратные**. Прямой называют такую связь, при которой один элемент (А) действует на другой (В) без ответной реакции. При обратной связи элемент В отвечает на действие элемента А.

Для понимания процессов, протекающих в биосистеме, необходимо учитывать две стороны ее функционирования. Одна из них связана с открытым характером системы - это процессы поручения, исполнения, передачи и использования веществ, энергии, информации. Эти процессы обеспечивают возможность сохранения структуры, рост и выполнение всех специфических функций биологической системы.

Другая сторона функционирования, связанная с управлением, включает восприятие, хранение, переработку и использование информации. Информационно-управляющие механизмы в системе определяют, какие вещественные и энергетические процессы и с какой скоростью происходят в ней. Наиболее общей задачей управляющих систем организма является сохранение его основы, создание благоприятных условий для ее функционирования при изменяющихся условиях внешней среды.

Структура организма поддерживается механизмами генетического управления. Получая от остальных систем энергию и информацию, генетическая система управляет процессами синтеза необходимых веществ и поддерживает жизнедеятельность остальных систем организма. Процессы в генетической части протекают достаточно медленно, для нее характерны интервалы времени, связанные с процессами роста, становления организма и его старения, процесса регенерации тканей и другие.

Поведенческие реакции организма осуществляются системой физиологического управления. Процессы в физиологических системах управления организма протекают значительно быстрее, чем в генетической. Поэтому генетическая система образует структуру биосистемы, в то время как быстрые поведенческие и физиологические реакции определяют ее функцию.

Таким образом, само строение биосистемы отражает две главнейшие ее характеристики- процесса обмена веществ (открытый характер живых систем) и процесса управления. Для такой системы характерно, что в нее постоянно извне вводятся вещества, которые внутри системы подвергаются различным преобразованиям. В результате процессов синтеза (анаболизм) в системе возникают компоненты более высокой сложности, утилизируемые организмом. Одновременно происходят процессы распада (катаболизм), конечные продукты которых выводятся из системы.

Одной из наиболее характерных черт открытых систем является то, что в них достигается состояние подвижного равновесия. При этом структура системы остается постоянной, но это постоянство сохраняется в процессе непрерывного обмена и движения составляющего ее вещества.

Открытая биосистема обеспечивается процессы, упорядоченной во времени и пространстве, приуроченные к определённой системе жизнеобеспечения. Эти процессы образуют три потока: 1.информационный 2.поток веществ 3.поток энергии

## 2. Дать оценку процессу восстановления жизнеспособности облученных клеток.

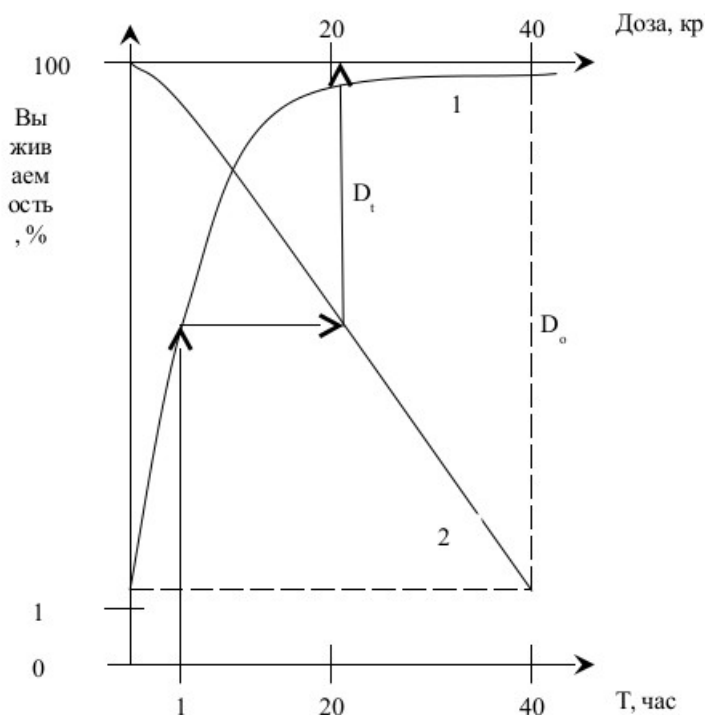


Рис. 3.18. Кинетика пострadiaционного восстановления дрожжевых клеток  
1 – кривая восстановления после облучения в дозе 40 кр;  
2 – кривая выживания

дозу  $D_t$ , соответствующую данной продолжительности восстановления. Кривая восстановления может быть изображены в виде зависимости от времени  $t$  относительной эффективной дозы  $D_t^*$

$$D_t^* = \frac{D_t}{D_0} = k + (1-k)e^{-\beta t} \quad \text{где } k - \text{необратимая компонента лучевого поражения;}$$

$\beta$ -постоянная восстановления, отражающая скорость этого процесса.

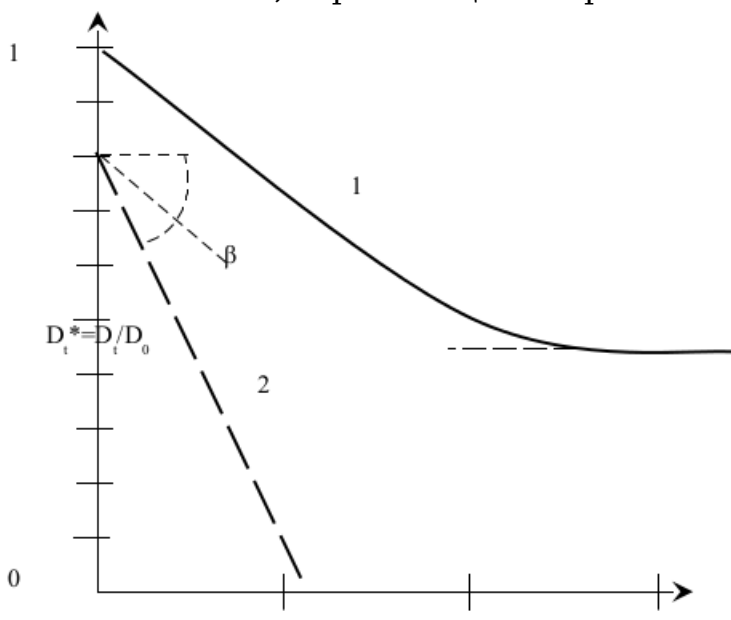


Рис. 3.19. 1 – Кривая восстановления, выраженная в форме уменьшения относительной эффективной дозы; 2 – Экспоненциальное уменьшение во времени обратимой компоненты лучевого поражения

На рис.3.19 видно, что величина « $k$ » с ростом дозы убывает, величина « $\beta$ » - остается постоянной. Экспоненциальное уменьшение во времени обратимой компоненты лучевого поражения (кривая 2) при независимой от дозы величины  $\beta$

Установлено, что чем позже после облучения клетки вступают в митоз, тем меньше число их содержит поврежденные хромосомы. Способность клеток восстанавливаться от летальных эффектов облучения можно считать общей закономерностью.

Рассмотрим некоторые закономерности пострadiaционного восстановления клеток.

1. Повреждение клетки может восстанавливаться как целое «по клеточно». Так большинство клеток корешков гороха восстанавливается от первичных повреждений «по клеточно».

2. Ряд клеток восстанавливается «локально». Дрожжевые клетки восстанавливаются постепенно.

По данным кривым на рис.3.18 можно определить эффективную

может наблюдаться лишь в случае, если элементарными единицами восстановления служат отдельные элементарные повреждения (последствия каждого попадания), а вероятность исчезновения каждого из этих повреждений в единицу времени не зависит от их числа в клетке и продолжительности процесса. Данные зависимости, обнаруженные на дрожжевых клетках, возможно, явятся всеобщим и для других клеток. Изучение влияния различных условий на пострadiaционное восстановление показало, что в его основе лежат процессы обмена веществ. Облученные дрожжи не восстанавливаются при инкубации их в аноксии и среде, лишенной органических веществ, однако восстановление идет весьма усиленно при добавлении в такую среду глюкозы, служащей субстратом брожения. Восстановление идет тем полнее, чем больший интервал времени проходит между облучением и возобновлением деления облученных клеток. Фактором, обуславливающим восстановление, здесь служит не сама задержка деления, а осуществление в облученных клетках соответствующих метаболических процессов. Искусственная задержка деления лишь представляет большие возможности для того, чтобы такие процессы лучше сыграли свою роль.

Клетки могут восстанавливаться от значительного числа первичных повреждений (до 75 %), вследствие чего выживаемость облученной популяции при достаточно высоких дозах может возрасти в 100 и более раз. Следовательно, значительная доля первичных повреждений возникает как бы в «потенциальной» форме, это - потенциальные повреждения. Для реализации этих потенциальных повреждений необходима метаболическая активность клетки, так же, как и для восстановления.

### **3. Определить процессы, происходящие в биологических объектах находящихся в электростатическом поле.**

В тканях живых организмов, находящихся в электрическом поле, индуцируются электрические заряды на поверхностях раздела с различными электрическими параметрами, а также происходит поляризация связанных зарядов. В электростатическом поле большинство тканей можно рассматривать как проводящие среды, а тело человека или животного в первом приближении считать намоченным проводником. При этом допущении можно оценить распределение зарядов, индуцированных на поверхности тела, исходя из формул, выведенных для проводящих тел простых геометрических форм, находящихся в электрическом поле. Тело человека можно рассматривать как проводящий гомогенный эллипсоид. Если такой эллипсоид находится в однородном электрическом поле напряженностью  $E$ , причем его большая ось параллельна линиям поля, то плотность индуцируемого поверхностного заряда определяется из соотношения:  $q_{\text{nos}} = \frac{E}{4\pi n} \cos \Theta$ , где  $n$  - коэффициент зависящий только от формы эллипсоида, а  $\Theta$  - угол между направлением на рассматриваемую точку поверхности и направлением поля. В этом случае распределение поверхностных зарядов таково, что эллипсоид приобретает дипольный момент  $p$  (вдоль большой оси) равны  $p = \frac{abc}{3n} E$ , где  $a, b, c$  - полуоси эллипса.

Теоретически рассмотрена возможность взаимодействия электростатического поля с макромолекулами тканей. Электрическое поле вызывает поляризацию макромолекул в растворе, обусловленную как наличием постоянного дипольного момента у молекул, так изменением расположения протонов в молекуле. Такое действие может влиять на относительную стабильность двух возможных конфигураций макромолекул. На основе этих соображений Хилл делает вывод, что под действием полей напряженностью порядка  $10^4 \text{ В/см}$  может произойти разделение цепей ДНК (переход от спаренного состояния к неспаренному), а это может послужить пусковым механизмом для разделения хромосом в клеточном ядре, предшествующего делению клетки. Другая возможность - влияние поля на состояние белковых цепей в мышечных волокнах (переход от длинной цепи к короткой), что может служить пусковым механизмом для мышечных сокращений.

## 1. Обосновать иерархические уровни сложности биосистем

Уровень организации живого — иерархически соподчинённые уровни организации биосистем, отражающие уровни их усложнения. Чаще всего выделяют семь основных структурных уровней жизни: молекулярный, клеточный, тканевой, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический и биосферный. В типичном случае каждый из этих уровней является системой из подсистем нижележащего уровня и подсистемой системы более высокого уровня. Следует подчеркнуть, что построение универсального списка уровней биосистем невозможно. Выделять отдельный уровень организации целесообразно в том случае, если на нём возникают новые свойства, отсутствующие у систем нижележащего уровня. К примеру, феномен жизни возникает на клеточном уровне, а потенциальное бессмертие — на популяционном.

Молекулярный – Представлен разнообразными молекулами, находящимися в живой клетке

Клеточный – Представлен разнообразными органическими клетками.

Тканевый – Тканевый уровень представлен тканями, объединяющими клетки определённого строения, размеров, расположения и сходных функций.

Организменный – Представлен одноклеточными и многоклеточными организмами растений, животных, грибов и бактерий.

Популяционно-видовой – Представлен в природе огромным разнообразием видов и их популяций.

Биогеоценотический – Представлен разнообразием естественных и культурных биогеоценозов во всех средах жизни.

Биосферный – Представлен высшей, глобальной формой организации биосистем — биосферой.

## 2. Провести анализ концепции потенциальных повреждений ионизирующих излучений.

Концепция потенциальных повреждений касается природы изменений реагирующих единиц и путей, связывающих эти изменения с выраженными проявлениями последствий облучения.

Потенциальные повреждения элементарных внутриклеточных структур можно рассматривать в трех аспектах - их формирование, реализацию и восстановление.

Формирование потенциальных повреждений завершается либо непосредственно во время облучения, либо вскоре после его прекращения. Если в формировании потенциальных повреждений участвуют продукты радиолиза воды, то в отношении «репарабельности» повреждения, возникающие как при прямом, так и непрямом действии излучений, не различаются между собой.

Действие ионизирующих излучений на элементарные биологические структуры весьма разнообразно, что выражается в возникновении при облучении не однотипных изменений, а целого спектра повреждений. Последствия облучения в ряде случаев можно усилить или ослабить, обрабатывая облученные объекты, кислородом, азотом, низкой и высокой температурой и пр.

Таким образом, непосредственно во время облучения под действием ионизации, возбуждения или активных продуктов радиолиза воды происходят различного рода изменения реагирующих единиц клеток. Эти изменения могут быть необратимыми в физико-химическом отношении или могут представлять состояние «частичной пораженности», выражающейся в чувствительности соответствующих структур к дополнительным воздействиям различных агентов.

Такая чувствительность постепенно исчезает. Очень важно подчеркнуть, что подобное исчезновение чувствительности к пострadiационному допоражению физический или физико-химический процесс, совершенно не зависящий от метаболической активности клетки. Можно полагать, что «субстратом» для биологических репарационных процессов, точками или приложениями служат именно окончательные и необратимые в физико-химическом отношении состояния пораженности реагирующих единиц клетки.

Эти состояния могут формироваться как непосредственно в момент поглощения лучистой энергии, так и в ходе различных процессов пострадиационного допорожения. Эти состояния и являются «потенциальными повреждениями».

### 3. Сравнить процессы, происходящие в биообъектах, находящихся в магнитостатическом поле.

Постоянное магнитное поле в принципе может оказывать влияние на различные процессы в биологических объектах: насчитывают до 20 возможных видов такого рода взаимодействий. При этом теоретические и экспериментальные исследования можно разделить на две группы в зависимости от того, микроскопические или макроскопические эффекты МП рассматриваются.

*К первой относятся явления связанные с ориентацией молекул под действием МП или искажение валентных углов в молекулах, или ориентация спинов молекул.*

Белковые молекулы – диамагнитные (выталкиваются из магнитного поля) и обладающие осевой симметрией – должны проявлять довольно высокую магнитную анизотропию. Благодаря этому в белковом растворе, находящемся в однородном магнитном поле с  $H = 10^4$ – $10^5$  э, могла бы произойти почти стопроцентная ориентация макромолекул. Однако в весьма вязких биологических растворах установление ориентационного равновесия для анизотропных молекул представляется маловероятным учитывая что в расчете на одну молекулу магнитная молекула не будет превосходит кТ.

Но наличие ближнего порядка у белковых молекул могут облегчать ориентационное действие МП на фоне теплового движения. Такое действие становится вероятным при  $H \approx 100$  э.

Возможность биомангнитных эффектов при сравнительно небольших напряженностях МП могут происходить за счет ориентации магнитных моментов неспаренных электронов в свободных радикалах, несмотря на тепловое движение.

При напряженностях МП  $10^2$ – $10^3$  э на участках, где протекают пульсирующие биоток с частотой импульсов  $10$ – $2 \cdot 10^3$  имп/сек, могут возникнуть пульсирующие пондеромоторные силы, оказывающие давление порядка  $10^{-6}$ – $10^{-1}$  дин/см<sup>2</sup>. Чувствительность человеческого уха

( $10^{-4}$  дин/см<sup>2</sup>) находится в этих пределах. При этом возможен резонансный эффект органа (собственные колебания) и вынужденных механических колебаниях. При этом магнитомеханический эффект может быть существенным и при геомагнитных полях.



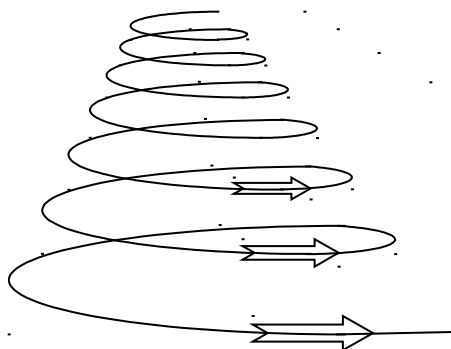
**1. Обосновать связь между сложностью и организацией биосистем.**

Рис.1.4. Циклы роста ракообразных.

На рис.1.4 длине витка спирали соответствует время между двумя последовательными линьками. Видно, что данное время монотонно возрастает с постоянным коэффициентом масштабирования на протяжении всего онтогенеза. При этом масштабируется не только суммарное время между соседними линьками, но с тем же коэффициентом увеличивается время каждой стадии многоступенчатого процесса подготовки к очередной линьке. Кроме того, после каждой линьки пропорционально увеличиваются размеры и масса организма. Другими словами, в этом примере морфогенетической трансформации имеет место удивительная пространственно-временная организация сложнейших биологических процессов, демонстрирующая циклогенетические закономерности и дополнительно оправдывается поиск во временных биоритмах тех же симметричных алгоритмов структуризации, что и в пространственных биорядках.

**2. Сравнить устойчивость ядра и цитоплазмы к ионизирующим излучениям.**

Еще в первых наблюдениях за результатами рентгеновского облучения сперматозоидов и неоплодотворенных икринок лягушек было отмечено, что оно одинаково губительно для развивающихся зародышей. Другими словами, было обнаружено одинаковое влияние на развитие эмбрионов изодозного облучения как мужских, так и женских гамет. Поскольку эти два типа гамет резко отличаются по количеству содержания цитоплазмы, то полученные результаты могли рассматриваться как указание на то, что ее облучение не играет особой роли для развития зародыша.

В ряде экспериментов, посвященных выяснению относительной радиочувствительности ядра и цитоплазмы, было использовано то обстоятельство, что положение ядра в клетке строго фиксировано и имеется возможность дифференцированного облучения обоих компонентов клетки. Так, у Навчовчасон если ядро расположено в удлинённом конце яйца, то это дает возможность использовать  $\alpha$ -частицы для облучения в одном случае только ядра, в другом - только цитоплазму. Было выяснено, что уже одна  $\alpha$ -частица, попавшая в ядро, вызывает гибель зародыша, в то время как такой же эффект при облучении цитоплазмы вызывают примерно  $15 \cdot 10^6$  частиц. Такие же результаты были получены как при  $\alpha$ - так и рентгеновском облучении ядра и цитоплазмы яиц дрозофилы. В этих экспериментах ядро оказалось в 185 раз чувствительнее цитоплазмы. Исследования показали, что хотя при облучении, в основном, имеет место прямое повреждение ядерного аппарата клеток, это повреждение может усиливаться за счет нарушений, вызванных облучением цитоплазмы в больших дозах.

Ядерный аппарат клетки является наиболее радиочувствительным из клеточных структур. Вместе с тем, хорошо известно, что именно ядро клетки представляет собой основную структуру, ответственную за передачу генетической информации от родительской клетке дочерним, от одного поколения к другому. Радиация индуцирует качественно такие же наследственно значимые изменения в клеточном ядре, какие

наблюдаются при естественном изменении ядерного аппарата.

Наследуемое изменение - физико-химическое, структурное или количественное - хромосом, составляющих ядро клетки, не связанное с процессом рекомбинаций, носит название мутаций. Последние разделяются на следующие категории:

1. Генные (точковые) мутации - физико-химическое изменение отдельных генов.
2. Хромосомные aberrации - мутации, связанные с нарушением структуры хромосом.
3. Мутации кариотипа - мутации, связанные с изменением нормального для данного вида организмов числа хромосом.

### 3. Провести анализ процесса поглощения энергии электромагнитного поля и ее превращения в тепловую энергию тканями организма.

В низкочастотном и ВЧ диапазонах преобразования энергии ЭМП в тепловую связано в основном с потерями проводимости, возникающими за счет выделения в тканях джоулева тепла индуцированным в них ионными токами. До частот порядка 10 МГц размеры тела человека и крупных животных малы по сравнению с длиной волны, а ткани тела можно рассматривать как проводящую среду. По этому выполняются условия квазистационарности и расчеты можно вести при помощи формул, выведенных для статического поля; мощность ЭМП, поглощаемая в единице объема тела, может быть в этом случае вычислена по закону постоянного тока:

$$P = i \vec{r} \quad \text{Вт/см}^3$$

Величину плотности тока  $i$  следует вычислить применительно к форме и электрическим параметрам биологического объекта. Такой расчет для человека, находящегося в переменном ЭЛ или магнитном поле диапазона частот от 100 кГц до 1 МГц сделан при следующих допущениях: 1. Тело человека приближенно рассматривается как геометрически гомогенны по электрическим свойствам проводящий эллипсоид;

2. Рассматривается только однородное электрическое или магнитное поле, в котором тело (эллипсоид) расположено так, что его большая ось параллельна силовым линиям.

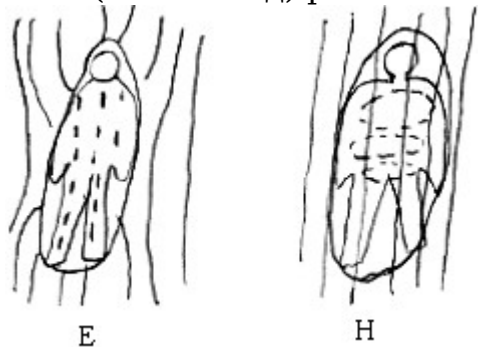


Рис. 5.8. Тело человека в статических полях.

На рисунке 5.8. пунктир - направление индуцированных токов. При этих условиях плотность тока в случае электрического поля равна

$$i_E = 1,3 \cdot 10^{-13} \cdot f \cdot E \quad \text{а/см}^2 \quad E - \text{в/м, а в случае магнитного поля :}$$

$$i_H = 1,3 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot H \quad \text{а/см}^2 \quad H - \text{а/м, } f - \text{Гц.}$$

Количество тепла, выделяемое при этом в теле человека будет определяться из соотношений:

$$Q_E = 2 \cdot 10^{-20} \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot f^2 \cdot E^2 \quad \text{кал/мин}$$

$$Q_H = 2 \cdot 10^{-16} \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot f^2 \cdot H^2 \quad \text{кал/мин}$$

$\rho_{\text{ср}}$  - среднее удельное сопротивление тканей тела человека.

$\rho_{\text{ср}}$  в рассматриваемых диапазонах можно принять равным значения для мышечных тканей (150–200 Ом).

В диапазоне УВЧ и СВЧ преобразование энергии ЭМП в тепловую связано уже не

только с потерями проводимости, но и с диэлектрическими потерями. При этом доля диэлектрических потерь в общем поглощении энергии ЭМП в тканях возрастает с частотой. Так, например, потери, связанные с релаксацией молекул воды в тканях, при частоте 1ГГц составляет около 50% от общих потерь, при частоте 10ГГц – около 90%, а при частоте 30ГГц – 98%.

## 1. Провести анализ процессов взаимодействия лазерного излучения и тканей организма.

Характерной особенностью лазерного излучения является монохроматичность, когерентность и строгая направленность. Благодаря когерентности лазерное излучение обладает высокой интенсивностью. С помощью лазера можно достигнуть колоссальных плотностей излучения. Так, например, энергия в 100 Дж достаточна лишь для горения лампочки накаливания в 100 Вт в течение 1 секунды, но, выделяя эту энергию в течение одной миллионной доли секунды, лазер в 100 Дж рождает световые импульсы мощностью в 100 млн. Вт.

Процессы, лежащие в основе взаимодействия излучения с биологическим материалом, мало изучены.

Цепь процессов, возникающих в биосубстрате под влиянием лазерной радиации, начинается с поглощения энергии. В большинстве случаев поглощается лишь часть падающего излучения. Происходит отражение, преломление, рассеивание света частицами ткани. И, наконец, поляризующие эффекты, в результате которых изменяется направленность электрических и магнитных полей.

Важнейшим фактором поглощения является пигментация.

Энергия лазерного излучения, поглощенная биообъектом, преобразуется в тепловую, энергию фотохимических процессов, излучение другой длины волны (т. е. флуоресценцию) или энергию электронных переходов, что, в конечном счете, может приводить к повреждению облученной ткани.

Термический эффект является важнейшим фактором взаимодействия лазерного излучения с тканью. Поэтому поражение обычно сходно с ожогом, особенно возникающим под влиянием токов высокой частоты. Отличительной чертой, очевидно, является резкая ограниченность пораженной области от смежной с ней интактной, что объясняется кратковременностью лазерного импульса: мгновенно выделяющееся тепло не успевает распространиться за пределы облученного участка. Строгая ограниченность участка резкого повышения температуры связана также с низкой теплопроводностью биотканей.

возникновение ударных волн механической или акустической природы при лазерном облучении фиксируются очень часто. Возможно несколько механизмов ударных эффектов. Испарение и извержение частиц материала с поверхности объекта приводит к возникновению давления отдачи, направленного противоположно движению извергаемых частиц, т. е. по ходу луча лазера.

Другой возможный механизм возникновения ударной волны связан с тепловым объемным расширением, которое развивается в облученном участке биоматериала в результате очень быстрого и кратковременного повышения температуры, когда мгновенно выделяющееся тепло не успевает распространиться путем теплопроводности, конвекции и пр.

При низкоэнергетическом облучении лазером, скорее всего, происходит изменение проницаемости поверхностной мембраны клеток. Причем самые резкие изменения наблюдаются у границ, разделяющих различные ткани.

## 2. Дать оценку зависимости частоты возникновения мутаций от дозы ионизирующего излучения.

Итак, «кумулятивным» эффектом облучения - является задержка деления клеток, связанная с каким-то изменением массовых внутриклеточных структур.

Одним из последствий повреждения уникальных структур (локальное действие излучения), которое проявляется у облученных клеток, являются повреждения уникальных структур, которые проявляются не сразу, а спустя некоторое время, требующееся для усиления их до микроскопически или макроскопически регистрируемых размеров.

Далее, последствия этих повреждений проявляются в необратимой форме (инактивация клеток, поломка хромосом, генная мутация).

Наследуемое изменение - физико-химическое, структурное или количественное - хромосом, составляющих ядро клетки, не связанное с процессом рекомбинаций, носит название мутаций. Последние разделяются на следующие категории:

1. Генные (точковые) мутации - физико-химическое изменение отдельных генов.
2. Хромосомные aberrации - мутации, связанные с нарушением структуры хромосом.
3. Мутации кариотипа - мутации, связанные с изменением нормального для данного вида организмов числа хромосом.

Охарактеризуем каждую из мутаций.

I. Ген-структурная единица наследственности, обладающая специфической характеристикой поведения в наследственности, изменчивости, состоящая из трех компонентов:

- 1) рекон - независимая единица рекомбинации;
- 2) мутон - независимая единица мутирования;
- 3) циетрон - независимая функциональная единица.

Мутон < рекон < циетрон.

При этом размер рекона оказался соответствующим двум нуклеотидам молекулы ДНК, тогда как мутон в ряде случаев мог быть приравнен к одному нуклеотиду. Точковые мутации - изменения, затрагивающие отдельные пары нуклеотидов в цепи ДНК. Для азотистой кислоты - мутирования фага и большинство возникающих при этом точковых мутаций связано с изменением одной нуклеотидной пары ДНК.

II. Хромосомные aberrации имеют различный характер, начиная с простой поломки хромосом и кончая образованием сложных aberrаций с вовлечением в них многих хромосом.

Механизм образования: излучение определяет появление разрывов хромосом и обнаруживается морфологически. Эти разрывы распределяются случайно по длине хромосомы. Таким образом, возникновение асимметричных aberrаций трагично для клетки и приводит их к гибели. Возникновение симметричных обменов не сопровождается непосредственной гибелью клеток. Вместе с тем они обладают рецессивным летальным действием и влияют на нормальный ход наследования.

III. Мутация кариотипа - связана с изменением числа хромосом. К ним относится полиплодия - краткое увеличение всего набора хромосом, а также гетероплодия - изменение числа отдельных хромосом.

### 3. Определить тепловой эффект воздействия электромагнитного излучения на живые объекты.

Нагревание тканей тела животных и общее повышение температуры тела под действием ЭМП зависит не только от величины ЭМ энергии, преобразующейся в тепло, но в значительной степени от терморегуляторных свойств организма.

Эксперименты, проведенные на фантомах, имитирующими тело животных, показали, что с увеличением объема объекта требуется все большее время для нагревания его до заданной температуры при помощи ЭМП данной мощности. Это объясняется тем, что, во-первых, для нагревания большего объема нужно больше калорий, во-вторых, при одинаковой глубине проникновения энергия ЭМП в ткани доля объема, в которой происходит поглощение, будет тем больше, чем меньше объем.

Приведем более детальное теоретическое исследование условий нагревания тканей тела человека под действием микроволн. Время  $t$ , необходимое для повышения температуры тела на  $5^\circ$ , вычислялось из уравнения

$$t = \frac{G \times C_b \cdot \Delta T}{E + I - S_b \cdot \alpha_{ab} (\Theta + \Delta T)}$$

где  $G$  - масса тела,  $C_b$  - удельная теплоемкость,  $M$  - тепло за счет метаболизма,  $E$  - тепло за счет облучения микроволнами,  $S_b$  - поверхность тела,  $\alpha_{ab}$  - коэффициент теплопередачи воздух - тепло,  $\Theta_{ab}$  - начальная разница температур воздух - тело,  $\Delta T = 5^\circ$  - увеличение температуры.

При установлении температуры облучаемого объекта необходимо иметь в виду отвод тепла в результате усиления кровотока.

Теоретический анализ показал, что избирательное нагревание частиц в растворе возможно только в том случае, если частицы достаточно крупны – не менее 1 мм в диаметре. По этому нет оснований считать возможным избирательное нагревание микрочастиц (клеток, бактерий) при отсутствии существенного нагревания среды, в которой они суспензированы.



## 1. Провести анализ известных гипотез структуры жидкой воды

В попытках объяснить удивительные свойства воды, было предложено несколько десятков гипотез и моделей ее строения. Каждая из моделей хорошо объясняет одно или несколько свойств воды, их зависимость от температуры, давления и т.п., но не в состоянии объяснить другие свойства или особенности воды. **Кластерная модель** постулирует существование в воде двух фаз: рыхлой льдоподобной и плотной аморфной. Льдоподобная фаза сохраняет каркас кристаллической решетки льда с его тетраэдрическим расположением молекул  $\text{H}_2\text{O}$  и свободными полостями внутри тетраэдров. Наличие рыхлой фазы объясняется высокая сжимаемость воды как целого. При повышении температуры доля льдоподобной фазы сокращается, сжимаемость воды уменьшается (рис. 2.6).

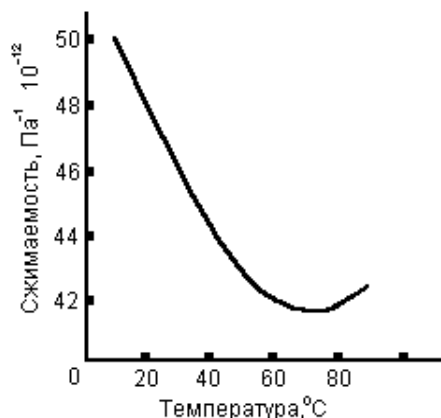


Рис. 2.6. Кривая отношения сжимаемости воды от температуры.

В аморфной фазе молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  расположены хаотично, пустот нет, эта фаза более плотная, чем льдоподобная. При повышении температуры доля аморфной фазы возрастает, и при 70-75°C становится преобладающей. При повышении температуры расстояния между молекулами  $\text{H}_2\text{O}$  внутри этой фазы увеличиваются, сжимаемость аморфной фазы возрастает, возрастает сжимаемость воды как целого. Так объясняет кластерная модель график, изображенный на рисунке.

**Клатратная модель** постулирует заполнение полостей льдоподобной фазы мономерными молекулами  $\text{H}_2\text{O}$  из аморфной фазы. По расчетам при 4°C полости заполнены на 18%, при 50-60°C — заполнены уже наполовину. Тот же рисунок объясняется клатратной моделью следующим образом. По мере повышения температуры все большее число мономерных молекул  $\text{H}_2\text{O}$  занимают полость льдоподобного каркаса, каркас перестает быть рыхлым, его сжимаемость уменьшается, одновременно уменьшается сжимаемость воды. При температурах 70-75°C доля льдоподобного каркаса становится настолько малой, что перестает влиять на сжимаемость воды как целого.

**Континуальная модель** постулирует наличие в воде непрерывной сетки водородных связей, вследствие чего жидкая вода подобна твердому телу. Но в жидкой воде связи частично замкнуты (до 90%), частично — открытые (до 10%), тогда как у льда — только замкнутые (100%).

**Автоклатратная теория** Образованный двадцатью молекулами воды пентагональный додекаэдр ограничивает незанятую пустоту диаметром 5Å. Кроме того, можно предположить существование другого многогранника, в котором свободное пространство достигает 6Å и более. Такие внутренние пустоты достаточно велики для того, чтобы рассматриваемые молекулы воды могли вращаться достаточно свободно, т.е. эти молекулы, не входящие в кристаллическую решетку следует считать «свободными».

Эта модель хорошо объясняет характерные свойства воды: максимум плотности, структурную сжимаемость. Модель дополняется предположением о «мерцании» структурного каркаса постоянно происходящем в текущей воде: старые связи исчезают, новые появляются.

Наиболее гибкая модель – жидкая вода представляется конгломератом «мерцающих» кластеров, состоящих из соединенных водородными связями молекул плавающих в более или менее «свободной воде». Образование кластеров является кооперативным явлением, поэтому едва ли можно ожидать присутствия в воде димеров и тримеров. Время полужизни кластера  $10^{-10}$  -  $10^{-11}$ с что соответствует времени релаксации процессов в воде.

При разбавлении в воде электролитов структура может меняться, появляются неожиданные явления – электрострикция.

## **2. Сравнить мутагенную эффективность различных видов ионизирующего излучения.**

Различные виды радиации отличаются не только по силе своего мутагенного действия, связанного с различиями по удельной ионизации, но и по спектру индуцируемых ими мутаций.

### **Внешнее воздействие.**

В специально проведенных экспериментах установлено, что по мере повышения концентрации  $O_2$  от 0 до 21 % в среде, окружающей облучаемый объект, выход хромосомных aberrаций быстро увеличивается: при дальнейшем повышении концентрации наблюдается лишь весьма слабое усиление эффекта. Кислородный эффект уменьшается по мере увеличения удельной ионизации и практически полностью исчезает при использовании  $\alpha$  – излучения. Выход хромосомных aberrаций при изучении микроспор традисканции в среде, содержащей  $O_2$ , по отношению к среде ею не имеющей, для  $\gamma$  – излучений равняется 3:1, тогда как для быстрых нейтронов 1,4:1 и для  $\alpha$  – частиц 1:1. Эксперимент показал, что  $O_2$  необходимо иметь именно в момент облучения. Введение  $O_2$  даже через 5 миллисекунд после облучения уже не эффективно. Наиболее вероятным механизмом влияния  $O_2$  как фактора, усиливающего эффективность лучевого поражения и не связанного с радиоллизом воды, сводится к непосредственному взаимодействию  $O_2$  с местами первичных повреждений в определенных клеточных структурах. Однако, кроме того, необходимо иметь в виду, что  $O_2$  играет роль в образовании хромосомных aberrаций как участник метаболических процессов, идущих в облученных клетках. Для осуществления перестроек требуется определенная энергия, поставляемая метаболическими процессами, идущими с участием кислорода. Так обработка облученных корешков конского боба АТФ резко убыстряет процесс воссоединения фрагментов и, как следствие этого, сокращает число двух и многоударных aberrаций.

### **Температурное воздействие**

При понижении температуры (не ниже  $0^\circ$ ) частота индуцированных мутаций повышается. Повышение температуры от  $-192^\circ$  до  $0^\circ$  увеличивает темп мутаций, в частности при  $192^\circ$  находится выход только половины того количества aberrаций, которое наблюдается при  $25^\circ$ .

Температурные изменения могут влиять на темп мутирования самыми различными путями, поскольку практически все стороны клеточного обмена зависят от температуры. Однако нет достаточных экспериментальных данных для конкретного описания механизма мутагенного действия температуры.

### **Ультрафиолетовое облучение.**

Уже давно установлено, что УФ воздействие ( $2537\text{Å}$ ), проводимое до и после рентгеновского облучения пыльцы традисканции, снижает эффективность последнего. Величина защитного действия зависила от дозы УФ излучения и времени его использования. Эти данные были подтверждены на дрозофиле, кукурузе и др.

Наряду с этим в ряде экспериментов было показано, что при определенных условиях

УФ излучение не только не оказывает защитного действия, но и несколько усиливало мутагенный эффект ионизирующих излучений. Особенно ярко это проявилось при исследовании частоты возникновения хроматидных аберраций в высушенной пыльце традесканции, где было установлено резко сипоргидное действие УФ и рентгеновского излучения.

### **Далекое ИК**

Было установлено, что ИК облучение (600-1150 мкм), использованное перед или после рентгеновского облучения, увеличивает примерно в 6 раз выход хроматидных аберраций в микроспорах традесканции. Это усиление имеет место даже тогда, когда между двумя облучениями проходит 96 часов. Считают, что ИК облучение влияет на процесс рекомбинации образующихся при рентгеновском облучении фрагментов. Эта последняя точка зрения хорошо согласуется с данными, указывающими на то, что облучение в этих длинах волн подавляет процессы фосфолирования в митохондриях. Возникающая в силу этого нехватка АТФ, может привести к изменению вероятности хромосомных восстановлений.

### **Механические воздействия.**

механические воздействия на ядерный аппарат клеток, приводящие к сближению точек разрыва хромосом, обусловят увеличение выхода хромосомных перестроек. Было установлено, что центрифугирование (2080 об/мин) микроспор традесканции во время облучения примерно удваивает частоту возникновения хромосомных и хроматидных обменов. Центрифугирование после облучения точки эффективно. Вместе с тем, центрифугирование за 15 мин. до облучения уменьшает выход аберраций в 2-3 раза. Этот последний факт сделан вероятным предположение о том, что влияние центрифугирования не сводится целиком к сближению точек разрывов хромосом. При центрифугировании клеток в аноксических условиях ( $N_2$ ) до или после, или во время облучения оказалось неэффективным. Представляет также интерес тот факт, что озвучание (9100 кол в сек) само по себе не приводящее к образованию хромосомных аберраций в микропроспорах традесканции, увеличивает эффективность рентгеновского облучения на 30 %.

## **3. Дать оценку нетепловым эффектам электромагнитных полей в биологических средах.**

Под действием непрерывных или импульсных ЭМП высоких и УВЧ (1 -100 МГц) суспензированные частицы угля, крахмала и молока, эритроциты и лейкоциты выстраиваются в цепочки, расположенные параллельно электрическим силовым линиям (рис.5.12.). Для каждого типа частиц имеется оптимальный диапазон частот, в пределах которого эффект возникает при минимальных напряженностях поля. Формирование цепочек происходит в результате притяжения между частицами, в которых под действием ЭМП индуцируются дипольные заряды.

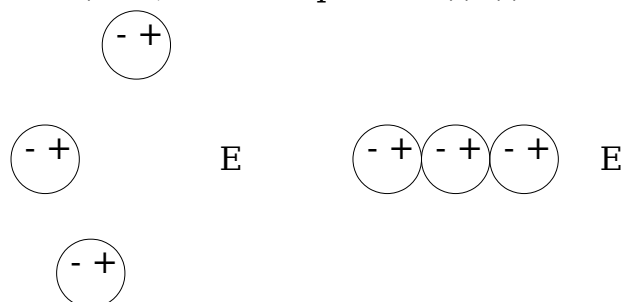


Рис.5.12. Образование цепочек.

В неполярной диэлектрической среде этот эффект возникает и при низких частотах и даже в электростатическом поле, но в воде и физиологическом растворе ионы и дипольные молекулы шунтируют поле низких частот и эффект возможен только при достаточно высоких частотах ( $>10$  МГц). Постоянная времени формирования цепочек пропорциональна кубу радиуса частиц ( $1 \text{ см}^2$  при  $R = 1 \text{ мк}$ ). Она мало зависит от  $E$  в слабых полях и обратно пропорциональна  $E^2$  в сильных полях. В

импульсных ЭМП полях эффект определяется средним значением  $E$ .

Несимметричные частицы ориентируются либо параллельно, либо перпендикулярно к направлению силовых линий.

Второй эффект – “диэлектрическое насыщение” в растворах белков и других биологических макромолекул под действием высоко интенсивных ЭМП СВЧ. Под действием таких полей разорванные боковые цепи макромолекул ориентируются в направлении силовых линий электрического поля и это может приводить к разрыву водородных связей и других, вторичных (внутри), а также межмолекулярных связей и к изменению зоны гидратации. Такие эффекты могли бы вызвать денатурацию или коагуляцию молекул.

Третий эффект, обусловленный действием сил Лоренца в переменных полях на ионы в электролитах. Если раствор электролита находится под действием перпендикулярных друг к другу и синфазно меняющихся ЭЛ и магнитных полей, то электрическое поле не оказывает влияния на ионы, а под действием сил Лоренца и положительные, и отрицательные ионы перемещаются в одном направлении – перпендикулярно направлению электрических силовых линий. Действию сил Лоренца в клеточной среде будут подвергаться не только ионы электролита, но и свободные метаболиты в ионизированной среде.

Наибольший интерес представляют эффекты резонансного поглощения ЭМП различных частотных диапазонов в биологических средах. В белках, содержащих ряд нейтрально и отрицательно заряженных основных боковых групп, среднеквадратичная величина дипольного момента отлична от нуля, даже если их средний постоянный момент равен 0. Это обуславливается тем, что число поляризованных групп боковых в белковой молекуле обычно превышает число связанных с ними протонов, так что существует множество возможных конфигураций распределения протонов в молекуле, мало отличающихся по свободной энергии. Для молекул ферментов, в предположении непрерывного распределения основных групп, среднее расстояние между группами составляет примерно  $9,5\text{\AA}$ . С такими дипольными взаимодействиями, происходящими за счет флуктуаций распределения протонов, может быть связано поглощение кванта энергии, соответствующего частоте 10 ГГц. Предполагают, что такое резонансное влияние ЭМП на распределение протонов в молекуле фермента может привести к изменению скорости образования фермент субстратного комплекса.





**1. Сравнить принципы механики и статики в биологии.** Из сопоставления общих принципов механики и статистической физики следует, что они противоречат друг другу. Наиболее четко это проявляется в том, что в механике процессы обязаны быть обратимыми во времени, в то время как второе начало термодинамики постулирует необратимое увеличение энтропии. Процессы, протекающие в биологических объектах, не являются ни чисто механическими, ни чисто термодинамическими. Если решение какой-либо динамической задачи неустойчиво (будь то движение или стационарное состояние), то реальные наблюдения наверняка приведут к результату, сильно отличающемуся от решения. Ясно, например, что невозможно наблюдать карандаш, сколь угодно долго стоящий на острие, хотя решение, соответствующее такому состоянию существует.

В связи с этим можно сформулировать следующее положение: решения любой динамической теории, в том числе и классической механики, реализуются в действительности, только если они устойчивы. Сильно неустойчивые траектории не реализуются. Эти утверждения кажутся тривиальными, однако именно они являются основой для пересмотра понятий:

1- отсюда следует, что механический процесс может стать необратимым во времени, если он сам или обратный ему процесс неустойчивы;

2- Абсолютно изолированных систем в природе не бывает.

Если, однако, внешние воздействия малые и отклик системы на них тоже мал, изолированную систему можно понимать как предел неизолированной при стремлении амплитуды внешних воздействий к нулю. Малость отклика означает, что система устойчива. Если система сильно неустойчива, отклик на малое воздействие становится не малым.

Общепринятое понятие изолированной системы при этом теряет смысл. Вместо него вводится понятие относительно изолированной системы - такой, в которой амплитуда внешних воздействий много меньше амплитуды соответствующих величин в самой системе (например: энергия внешних воздействий много меньше энергии системы и т.д.).

3- В неустойчивых процессах исчезающая малая "причина" может вести к большому "следствию".

4- Исчезающие малые возмущения, как правило, не поддаются динамическому анализу; К описанию поведения исчезающе малых возмущений применим вероятностный подход. Таким образом, система из разряда динамических переходит в класс статистических.

**2. Провести анализ роли внешних факторов на появление хромосомных aberrаций при радиационном поражении.** У многих биологических объектов, частота возникновения определенного типа хромосомных aberrаций зависит от мощности дозы облучения.

- В специально проведенных экспериментах установлено, что по мере повышения концентрации  $O_2$  от 0 до 21 % в среде, окружающей облучаемый объект, выход хромосомных aberrаций быстро увеличивается: при дальнейшем повышении концентрации наблюдается лишь весьма слабое усиление эффекта.
- Содержание воды. Так, если уменьшить количество воды в семенах ячменя ниже уровня, характеризующего обычные воздушно-сухие семена, то радиочувствительность их повышается. Отдельно следует указать на априорную возможность того, что в некоторых случаях уменьшение воды в клетке приводит к увеличению количества
- В ряде работ показано, что при понижении температуры (не ниже  $0^\circ$ ) частота индуцированных мутаций повышается.
- Уже давно установлено, что УФ воздействие ( $2537\text{Å}$ ), проводимое до и после рентгеновского облучения пыльцы традесканции, снижает эффективность последнего. Величина защитного действия зависила от дозы УФ излучения и времени его использования. Наряду с этим в ряде экспериментов было показано, что при определенных условиях УФ излучение не только не оказывает защитного действия, но и несколько усиливало мутагенный эффект ионизирующих излучений.
- Было установлено, что ИК облучение (600-1150 мкм), использованное перед или после рентгеновского облучения, увеличивает выход хроматидных aberrаций.
- Исходя из априорных соображений, можно было предполагать, что механические воздействия на ядерный аппарат клеток, приводящие к сближению точек разрыва хромосом, обусловят увеличение выхода хромосомных перестроек.

**3. Определить действие электромагнитных полей на изолированные органы и ткани.** Эффект изменения углеродного обмена в печени под действием ЭМП исследовался в опытах с изолированной печенью (рис.1). Опыты проводились в диапазоне частот от 0,5 до  $21,5 \cdot 10^3 \text{кГц}$  при одинаковой напряженности 15В/см. Обнаружено что НЧ и ВЧ ЭМП понижают содержание глюкозы по сравнению с контролем, а СВЧ – поля повышают. Эффект не возрастает с напряженностью, а достигает максимума при некотором "оптимальном" ее значении. Частота облучения 2,4ГГц, интенсивность 10-100мВт/см<sup>2</sup>. При высоких интенсивностях СВЧ-облучении обнаружено двухфазное изменения амплитуды биопотенциалов, причем эффект носит не тепловой характер. Иллюстрация этого процесса приведена на рис.2.

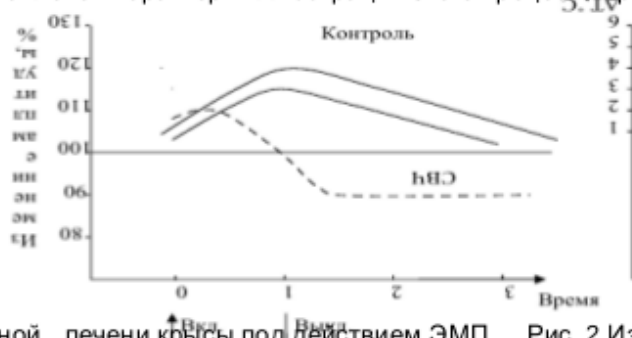
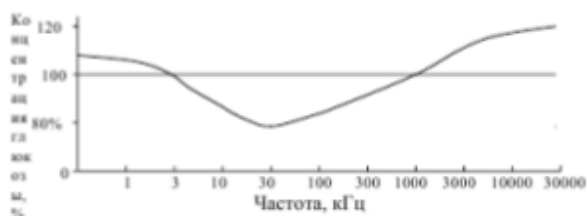


Рис. 1. Изменение концентрации глюкозы в изолированной печени крысы под действием ЭМП. Рис. 2 Изменение амплитуды биопотенциалов от времени воздействия СВЧ-облучения.



## 1. Провести анализ аномальных свойств жидкой воды.

Расскажем об одном курьезе воды.

Вещества — аналоги воды, молекулы которых по химическому составу похожи на воду, —  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{Se}$ ,  $\text{H}_2\text{Te}$ , т.е. соединения водорода и серы, водорода и селена, водорода и теллура и т.д., при комнатной температуре находятся в газообразном состоянии. Казалось бы, вода, сохрани она такие же свойства, должна бы закипать при температуре  $-70^\circ\text{C}$ , а превращаться в лед при  $-90^\circ\text{C}$ . Эти условия вряд ли бы способствовали развитию жизни на Земле, ведь она должна была бы существовать в интервале температур от  $-70^\circ\text{C}$  до  $-90^\circ\text{C}$  (рис.3). В таком холоде разве возможна жизнь? Иначе говоря, если бы вода — гидрид кислорода  $\text{H}_2\text{O}$  — была бы нормальным мономолекулярным соединением, таким, например, как ее аналоги по шестой группе Периодической системы элементов Д.И.Менделеева — гидрид серы  $\text{H}_2\text{S}$ , гидрид селена  $\text{H}_2\text{Se}$ , гидрид теллура  $\text{H}_2\text{Te}$ , то в жидком состоянии вода существовала бы в пределах от минус  $95^\circ\text{C}$  до минус  $70^\circ\text{C}$ , а не такая, какая реально существует сейчас. Нетрудно понять, что в этом случае биологической жизни на Земле не могло бы существовать. На рис.3 показаны необычные точки замерзания и кипения воды по сравнению с другими жидкостями.

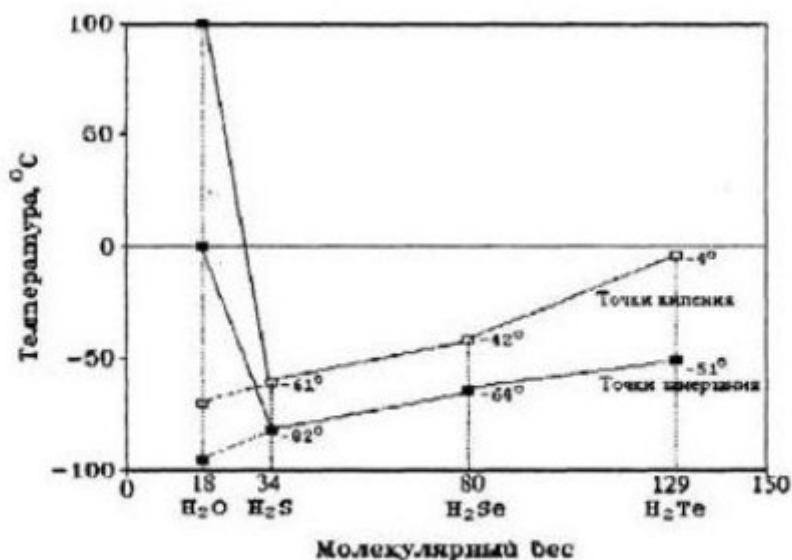


Рис. 3. Аномалии точек кипения и замерзания воды по сравнению с другими соединениями водорода.

Но, к счастью для нас и для всего живого на свете вода обладает аномальными свойствами. Вода «не признает» периодических закономерностей, характерных для бесчисленного множества соединений на Земле и в Космосе, а следует своим, еще не вполне понятным для науки законам, подарившим нам удивительный мир Жизни.

«Ненормальные» температуры плавления ( $0^\circ\text{C}$ ) и кипения ( $+100^\circ\text{C}$ ) воды далеко не единственная ее аномальность. Для всей биосферы исключительна важной особенностью воды является ее способность при замерзании увеличивать, а не уменьшать свой объем, т.е. уменьшать плотность. Действительно, при переходе любой жидкости в твердое состояние молекулы располагаются теснее, а само вещество, уменьшаясь в объеме, становится плотнее. Да, для любой из необозримо разных жидкостей, но не воды. Вода и здесь представляет исключение. При охлаждении вода сначала ведет себя как и другие жидкости: постепенно уплотняясь, уменьшает свой объем. Такое явление можно наблюдать до  $+3,98^\circ\text{C}$ . Затем, при дальнейшем снижении температуры до  $0^\circ\text{C}$ , вся вода замерзает и расширяется в объеме. В результате удельный вес льда становится меньше воды и лед плавает. Если бы лед не всплывал, а тонул, то все водоемы (реки, озера, моря) промерзли бы до дна, испарение бы резко сократилось, все пресноводные животные и растения погибли бы. Жизнь на Земле стала бы невозможной.

Вода — единственная жидкость на Земле, лед которой не тонет за счет того, что его объем на 1/11 больше объема воды. Еще одно удивительное свойство воды — ее огромное поверхностное натяжение. Благодаря тому, что круглые шарики воды очень упруги, идет дождь, выпадает роса. Что же это за удивительная сила, которая сохраняет капли росы, а поверхностный слой воды в любой лужице делает эластичным и относительно прочным?

Известно, что если стальную иглку осторожно положить на поверхность воды, налитой в блюдце, то иглка не тонет. А ведь удельная масса металла значительно больше, чем у воды. Молекулы воды связаны силой поверхностного натяжения, которая позволяет им подниматься вверх по капиллярам, преодолевая силу земного притяжения. Без этого свойства воды жизнь на Земле была бы также невозможна.

Ни одно вещества на Земле не обладает такой способностью поглощать тепло, как вода. Для превращения в пар 1г воды требуется 537 калории тепла. Конденсируясь, пар возвращает эти 537 калорий в окружающую среду. Ни одно вещество в мире не поглощает и не отдает среде столько тепла, сколько вода. Теплоемкость воды в 10 раз больше теплоемкости стали и в 30 раз больше ртути. Вода сохраняет тепло на Земле. С поверхности морей, океанов, суши испаряется за год 520000 кубических километров воды, которые, конденсируясь, отдают много тепла холодным и полярным регионам.

Не обладай вода такой уникальной способностью поглощать и отдавать тепло, климат Земли оказался бы непригодным для существования человека. В высоких широтах тогда царил бы нестерпимый холод, а в низких — солнце испепелило бы все живое.

Благодаря наземному Мировому океану атмосфера представляет собой надежное теплое одеяло, укрывающее тело планеты и защищающее его от космического холода. Подземный океан снабжает Землю теплом из внутренних источников планеты.

Ни одна жидкость не поглощает газы с такой жадностью, как вода. Но она их также легко отдает. Дождь растворяет в себе все ядовитые газы атмосферы. Вода -ее мощный природный фильтр, очищающий атмосферу от всех вредных и ядовитых газов.

Еще одно удивительное свойство воды проявляется при воздействии на нее магнитного поля. Вода, подвергнутая магнитной обработке, меняет растворимость солей и скорость химических реакций.

Магнитная вода не только не дает накипи в котлах, но и срывает ранее образовавшиеся отложения, повышает прочность бетона, ускоряет его застывание, увеличивает процент выхода обогащенной руды.

Ряд удивительных свойств воды связан с ее теплоемкостью. Легче всего вода нагревается и быстрее всего охлаждается в своеобразной «температурной яме», соответствующей +37 °С, температуре человеческого тела (рис. 4). Как видно из рис.4, теплоемкость воды своих минимальных значений достигает около +37 °С. Это нормальная температура тела человека. Именно при температуре 36,6-37оС сложнейшие реакции обмена веществ в организме человека наиболее интенсивны. Значит, при этой температуре организм человека находится в наивыгоднейшем энергетическом состоянии.

## 2) Дать оценку действия радиации на млекопитающих

Наиболее часто радиочувствительность животных характеризуется той дозой облучения, которая приводит к 50 % смертности на 30 день наблюдения (ЛД 50/30).

ЛД 50/30 Хомяк - 900 р, Обезьяна - 550 р, Кролик - 800 р, Собака - 400 р.

В первой части кривой (рис.3.28) приведена выживаемость мышей, облученных в дозах до 100 р. Средняя продолжительность жизни меняется незначительно и объясняется преждевременным старением организмов. При 100-150 р отмечается гибель животных от острой лучевой болезни. При увеличении дозы до 1000 р средняя выживаемость резко уменьшается, а продолжительность жизни идет до 30 дней. Животные погибают от острой лучевой болезни. 1000-13000 р - животные погибают через 3,5 суток от "кишечной формы" острой лучевой болезни. Свыше 13000 р - срок до суток, "мозговая форма" острой лучевой болезни; 105 р - через несколько минут "смерть под лучом".

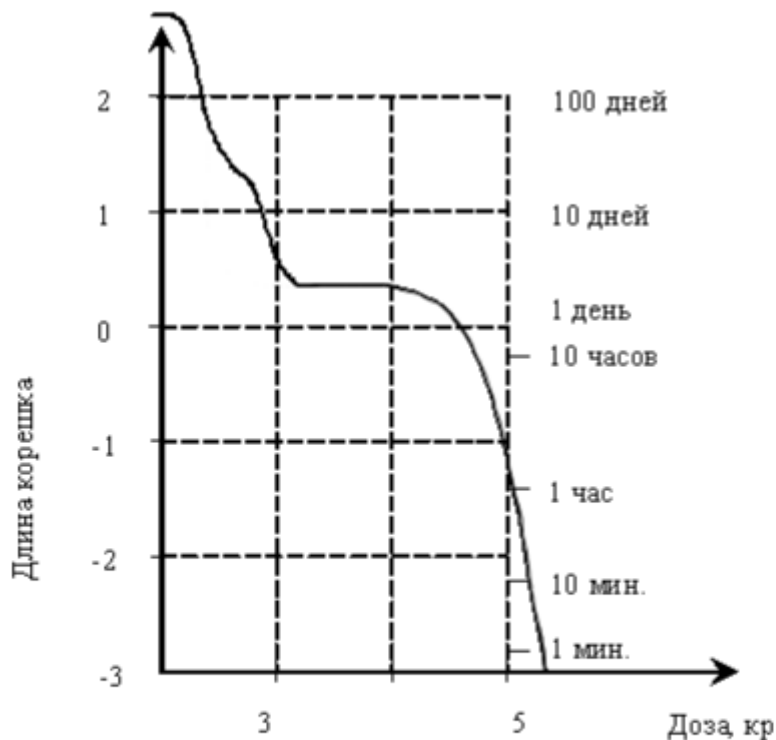


Рис. 3.28. Средняя продолжительность жизни белых мышей после  
однократного общего облучения.

Многократное облучение в малых дозах или длительное облучение с малой мощностью доз вызывают меньший биологический эффект, чем однократное облучение в той же дозе, что связано со способностью тканей и органов к комплексации и восстановлению. Как при однократном остром, так и многократном хроническом лучевом воздействии организм отвечает более или менее однотипными реакциями. Но при остром лучевом воздействии наиболее глубокие поражения наблюдаются со стороны органов кроветворения и пищеварения, тогда как при хроническом лучевом поражении на первый план выступают раннее старение, укорочение сроков жизни и развитие опухолей.

На местное облучение организм отвечает гуморальным фактором в механизме ответной реакции. Появление в тканях организма радиотоксинов.

### 3) Сравнить механизм действия электромагнитного поля на биообъекты на молекулярном уровне.

В тканях живых организмов, находящихся в электрическом поле, индуцируются электрические заряды на поверхностях раздела с различными электрическими параметрами, а также происходит поляризация связанных зарядов. В электростатическом поле большинство тканей можно рассматривать как проводящие среды, а тело человека или животного в первом приближении считать намоченным проводником. При этом допущении можно оценить распределение зарядов, индуцированных на поверхности тела, исходя из формул, выведенных для проводящих тел простых геометрических форм, находящихся в электрическом поле. Тело человека можно рассматривать как проводящий гомогенный эллипсоид. Если такой эллипсоид находится в однородном электрическом поле напряженностью  $E$ , причем его большая ось параллельна линиям поля, то плотность  $E$  индуцируемого поверхностного заряда определяется из соотношения:

$$q_{\text{поверх}} = \frac{E}{4\pi} \cos\Theta,$$

, где  $4\pi$  - коэффициент зависящий только от формы эллипсоида, а  $\Theta$  - угол между направлением на рассматриваемую точку поверхности и направлением поля. В этом случае распределение поверхностных зарядов таково, что эллипсоид приобретает

дипольный момент

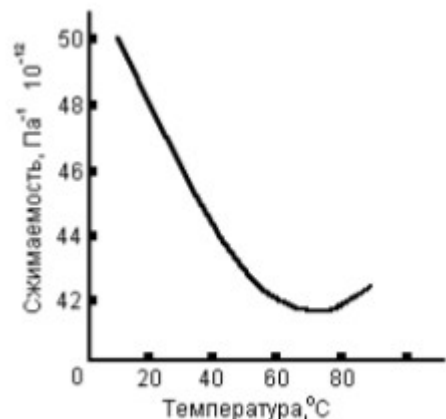
$p$  ( вдоль большой оси равны  $p = \frac{abc}{3n} E$ , где  $a, b, c$  – полуоси эллипса.

Теоретически рассмотрена возможность взаимодействия электростатического поля с макромолекулами тканей. Электрическое поле вызывает поляризацию макромолекул в растворе, обусловленную как наличием постоянного дипольного момента у молекул, так изменением расположения протонов в молекуле. Такое действие может влиять на относительную стабильность двух возможных конфигураций макромолекул. На основе этих соображений Хилл делает вывод, что под действием полей напряженностью порядка 104В/см может произойти разделение цепей ДНК ( переход от спаренного состояния к неспаренному ), а это может послужить пусковым механизмом для разделения хромосом в клеточном ядре, предшествующего делению клетки. Другая возможность – влияние поля на состояние белковых цепей в мышечных волокнах ( переход от длинной цепи к короткой ), что может служить пусковым механизмом для мышечных сокращений.

## 1. Сравнить теоретические модели строения воды.

Основой для построения многих гипотетических моделей послужило сформулированное в 1933г. Д. Берналом и Р. Фаулером положение о тетраэдрическом расположении в пространстве молекулы воды. Это представление вытекало из постулата о направленности химических связей и экспериментального определения угла связи атомов кислорода и водорода, равного  $105^\circ$ . Угол связи молекул  $H_2O$  в тетраэдре равен  $109^\circ$ . Тетраэдр образуется объединением молекул  $H_2O$  за счет дополнительных, так называемых водородных связей.

**Кластерная модель** постулирует существование в воде двух фаз: рыхлой льдоподобной и плотной аморфной. Льдоподобная фаза сохраняет каркас кристаллической решетки льда с его тетраэдрическим расположением молекул  $H_2O$  и свободными полостями внутри тетраэдров (поэтому фаза неплотная, рыхлая, «ажурная», обладает большой сжимаемостью). Наличие рыхлой фазы объясняется высокая сжимаемость воды как целого. При повышении температуры доля льдоподобной фазы сокращается, сжимаемость воды уменьшается. В аморфной фазе молекулы  $H_2O$  расположены хаотично, пустот нет, эта фаза более плотная, чем льдоподобная. При повышении температуры доля аморфной фазы возрастает, и при  $70-75^\circ C$  становится преобладающей.



**Клатратная модель** постулирует заполнение полостей льдоподобной фазы мономерными молекулами  $H_2O$  из аморфной фазы. Тот же рисунок объясняется клатратной моделью следующим образом. По мере повышения температуры все большее число мономерных молекул  $H_2O$  занимают полость льдоподобного каркаса, каркас перестает быть рыхлым, его сжимаемость уменьшается, одновременно уменьшается сжимаемость воды. При температурах  $70-75^\circ C$  доля льдоподобного каркаса становится настолько малой, что перестает влиять на сжимаемость воды как целого. Клатратную модель применительно к растворам электролита разработал О.Я. Самойлов. Он показал, что полости каркаса могут заполняться не только молекулами  $H_2O$ , но и ионами растворенного вещества. Малые по размеру ионы (в основном катионы) смогут входить в полость лишь при достаточно сильных внешних воздействиях.

**Континуальная модель** постулирует наличие в воде непрерывной сетки водородных связей, вследствие чего жидкая вода подобна твердому телу. Но в жидкой воде связи частично замкнуты (до 90%), частично — открытые (до 10%), тогда как у льда — только замкнутые (100%). В пользу континуальной модели свидетельствуют данные машинных численных экспериментов. Используя методы математической статистики (например, метод Монте-Карло), находят энергии взаимодействия молекул по той или иной модели. Идеальные растворы удовлетворительно описываются клатратной моделью. Явления переноса (диффузия, электропроводность) в идеальных растворах описываются закономерностями, базирующимися на аналогичных законах для идеальных газов. В частности, считается, что ион совершает в воде тепловые движения почти такие же, как молекулы в идеальном газе — прямолинейно от столкновения к столкновению. Чем выше концентрация ионов в растворе, тем чаще будут такие столкновения, тем меньше интервал времени между столкновениями ионов. На этом аналогия с идеальным газом заканчивается. Каждый ион в воде обязательно взаимодействует с молекулами  $H_2O$ , координируя их вокруг себя: говорят, что ион создает свою гидратную оболочку. Разумеется, через какое-то время ион освободит полость и продолжит хаотическое тепловое движение. Но пока он в полости — он неподвижен, он стабилизирован в полости сам и стабилизирует полость.

**Автоклатратная теория** структуры воды Полинга была развита количественно в ряде работ. Образованный двадцатью молекулами воды пентагональный додекаэдр ограничивает незанятую пустоту диаметром  $5\text{\AA}$ . Кроме того, можно предположить существование другого многогранника, в котором свободное пространство достигает  $6\text{\AA}$  и более. Такие внутренние пустоты достаточно велики для того, чтобы рассматриваемые молекулы воды могли вращаться достаточно свободно, т.е. эти молекулы, не входящие в кристаллическую решетку следует считать «свободными». Эта модель хорошо объясняет характерные свойства воды: максимум плотности, структурную сжимаемость.

Полученные экспериментально результаты рентгеноструктурного исследования не подтвердили существования в жидкой воде структур, состоящей из пентагональных додекаэдров. Они подтвердили модель подобную модели Самойлова, в которой рассматриваются разрушенный льдоподобный



каркас и межузловые молекулы воды. Хотя клатратная модель не подтвердилась, ее нельзя полностью отвергать, может оказаться, что при обычных уровнях клатратная структура присутствует в слишком малых количествах, однако она может вызвать так называемые тепловые аномалии в свойствах воды при температурах 0-40°C.

Наиболее гибкая модель – **жидкая вода** представляется конгломератом «мерцающих» кластеров, состоящих из соединенных водородными связями молекул плавающих в более или менее «свободной воде». Образование кластеров является кооперативным явлением, поэтому едва ли можно ожидать присутствия в воде димеров и тримеров. Время полужизни кластера  $10^{-10}$ - $10^{-11}$ с что соответствует времени релаксации процессов в воде.

## 2. Провести анализ действий ионизирующих излучений на высшие растения.

В целом исследования показали, что растения более устойчивы к действию радиации, чем животный организм. Если для взрослого организма теплокровного животного смертельные дозы лежат в пределах 1 кР(килоРентген), несколько повышаясь для холоднокровных (1,5-4 кР), то взрослые растения могут выдерживать сотни тысяч Р без сильно выраженных изменений. Радиочувствительность отдельных видов весьма различна: традесканция - 30-50 Р/день, гладиолус - 5000-6000 Р/день. Это отличие не связано с числом хромосом, плоидностью. Показано, что для диплоидных растений с увеличением объема ядра увеличивается радиочувствительность. Однако не количество ДНК и объем ядра оказывается решающим в определении радиочувствительности. При остром облучении быстро растущие растения оказывались более чувствительными к действию радиации. Все эти факты указывают на существенную роль физиологического состояния неразрывно связанного с характером обменных процессов, в явлении радиочувствительности. Семена растений тоже имеют различную радиочувствительность: бобы конские - 10 кр; белая горчица - 200 кр. Первичные и начальные

процессы, возникающие в клетке под влиянием радиации, несомненно, имеют общие черты для любой клетки. Поэтому общие черты и закономерности обязательны и для растений. Если брать в качестве критерия действия радиации какие-либо показатели, отражающие степень нарушения нормальных структур и функций целого организма (снижение выживаемости поломки хромосом), то, как правило, кривая доза-эффект будет иметь вид мало чем отличающийся от аналогичных кривых для животных. В качестве отличия только более заметное существование

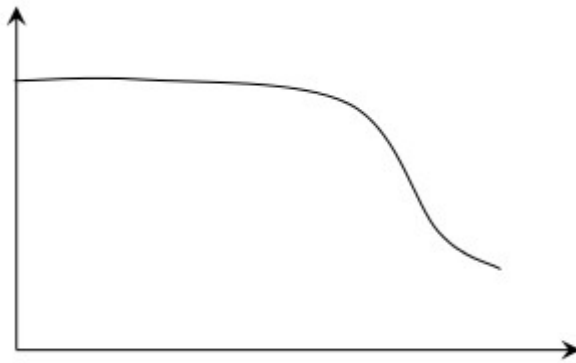


Рис. 3.25. Дозовая кривая растений

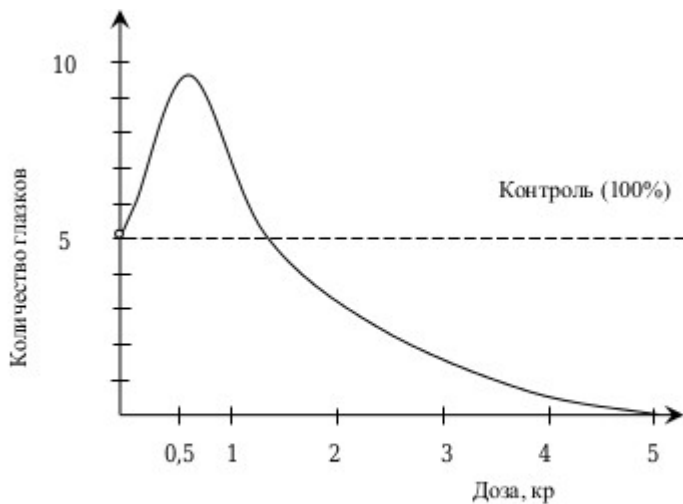


Рис. 3.26. Зависимость проросших глазков картофельных клубней от доз облучения

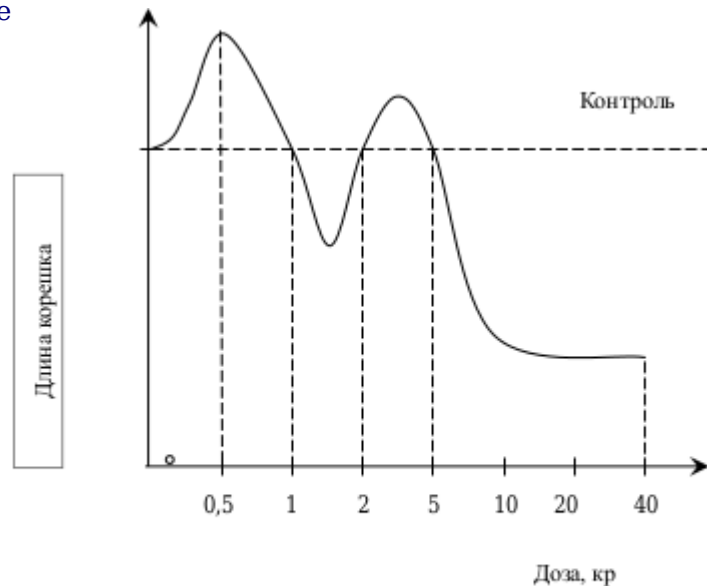


Рис. 3.27. Интенсивность роста корешков кукурузы при различных дозах  $\gamma$ -облучений

начального имаго, что является следствием большей радиочувствительности растений. Но если в качестве критерия брать нормальные физиологические функции, которые отражают интенсивность жизненных процессов (скорость роста, интенсивность митозов и др.), то легко выявить характерную для растений особенность - наличие одного или двух максимумов в начале кривой. Эти максимумы указывают на то, что многие нормальные функции растений в начале при определенных дозах облучения усиливаются, достигают максимума и только при



больших дозах облучения начинают угнетаться. Следует подчеркнуть, что явление стимуляции развития отмечалось лишь при облучении  $\beta$ ,  $\gamma$  и рентгеновскими лучами. Облучение нейтронами и  $\alpha$  частицами, как правило, вызывало лишь повреждения. Предполагают, что диффузная ионизация молекул протоплазмы ведет к появлению "продуктов распада", оказывающих при слабых концентрациях стимулирующее влияние на жизнедеятельность. Была показана активация под влиянием облучения ферментивных реакций окисления фенолов (тирозина и др.) с образованием биологически активных ортофенолов и ортохинонов (повышение содержания кофейной кислоты в конце клубней картофеля при облучении). Возникновение в семенах в момент облучения свободнорадикальных центров является, повидимому, первичным процессом, вызывающим в дальнейшем метаболические сдвиги.

### 3. Обосновать применение в медицине электромагнитных полей и волн различных частотных диапазонов.

Излучение	Медицинское применение	<b>ММ-терапия</b> (мм-волны) имеет ряд особенностей, которые привлекают по сравнению с другими методами лечения: неинвазивность, возможность использования в качестве монотерапии, а также хорошая сочетаемость с
$\gamma$ - излучения	Терапевтические аппараты (онкология)	
Рентгеновское	Диагностические и терапевтические аппараты (онкология)	
УФ	Лампы для санации помещения УФО	
Видимое	Лазеры для терапии и хирургии	
ИК	Термография, лазерная терапия	
КВЧ	КВЧ – физиотерапия	
СВЧ	Гипертермия, диатермия	
Радиоволновое	Диатермия	хорошая сочетаемость с
Низкочастотное	Магнитотерапия	

медикаментозными методами лечения, отсутствие аллергии, побочных эффектов и отдельных последствий, полилечебные эффекты. Хорошая переносимость больными процедур лечения. ММ-терапия улучшает иммунный статус организма, уменьшая последствия стрессовых воздействий на организм. По мнению многих исследователей, биологические эффекты ЭМВ максимально проявляются в тех участках частотного диапазона, при которых на поверхности Земли естественный ЭМ фон минимален. Сильно взаимодействуя с молекулой воды, мм волны могут существенно изменять ее свойства, как с внешней, так и с внутренней стороны мембраны за счет конвективного движения жидкости. Известно, что многие биохимические (мембранные) процессы чувствительны к перемешиванию среды. Экспериментально показано, что миллиметровые волны низкой интенсивности могут привести к ускорению активного транспорта ионов, ускорению перекисного окисления липидов в лизосомах, к увеличению ионной проницаемости бислойных липидных мембран. Из серии экспериментов, сделан вывод, что конвекция, снимающая диффузионные ограничения в жидкой среде, а также внутри клетки, является одним из первичных механизмов действия мм волн на процессы жизнедеятельности. С конвекцией может быть связано изменение транспорта ионов и различных веществ, определяющих процессы жизнедеятельности клеток. В КВЧ-диапазоне энергия кванта  $h\nu$  все еще меньше энергии теплового движения  $kT$ . Следовательно, мм -волны могут воздействовать только на вращательные степени свободы молекул и влиять на их конформационное состояние, они не могут влиять на химические связи в атомно-молекулярных комплексах. При регистрации биологических КВЧ-эффектов часто отсутствует тепловой эквивалент (при повышении температуры объекта нельзя получить такой же биологический эффект или же при повышении температуры объекта БЭ имеет противоположный знак). Очень важна особенность воздействия слабых ММВ на облучаемую поверхность (кожу, жидкость), связана с особенностями распределения микротемпературы на этой поверхности. Оказалось, что из-за ряда интерференционных эффектов на локально облучаемой поверхности можно наблюдать "горячие" области и "горячие" точки, положение которых меняется при перестройке частоты излучения. Изменение положения этих областей на поверхности при перестройке частоты генератора может привести к важным биологическим эффектам: локально- тепловому массажу кожных рецепторов (например, в случае большой чувствительности кожных рецепторов – к тепловым градиентам). При комбинированном действии мм волн с противоопухолевыми препаратами или рентгеновским излучением (основные лечебные факторы в онкологической практике) указанные волны снижают в значительной степени поражение кроветворной системы (побочные факторы действия лечебных средств) а на уровне стволовых клеток костного мозга усиливают их пролиферативную активность. Действие мм волн в комбинации с другими факторами может привести также к дополнительному торможению роста злокачественных образований по сравнению с действием рентгеновского излучения или химиопрепаратов.

**1. Провести анализ основных положений об ионизирующих излучениях.**

Ионизирующее излучение — это электромагнитные излучения, которые создаются при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образуют при взаимодействии со средой ионы различных знаков.

Наиболее значимы следующие типы ионизирующего излучения:

Коротковолновое электромагнитное излучение (поток фотонов высоких энергий):

- рентгеновское излучение;
- гамма-излучение.

Потоки частиц:

- бета-частиц (электронов и позитронов);
- альфа-частиц (ядер атома гелия-4);
- нейтронов;
- протонов, других ионов, мюонов и др.;
- осколков деления (тяжёлых ионов, возникающих при делении ядер).

В зависимости от характера взаимодействия с веществом все ионизирующие излучения делятся на две большие группы. К первой относят излучения, состоящие из заряженных частиц -  $\alpha$ ,  $\beta$ -частиц, пучков электронов, протонов, тяжелых ионов и отрицательных  $\pi$ -мезонов. Эти излучения вызывают ионизацию вещества непосредственно при столкновениях с атомами и молекулами, поэтому их иногда называют непосредственно ионизирующими излучениями.

Заряженные частицы электростатически взаимодействуют с составными частями атома - притягиваясь или отталкиваясь в зависимости от знака. Притяжение электрона к ядру меняет его траекторию, но не сдвигает ядро. Путь электрона в веществе - это ломаная линия. Чем больше масса частицы, тем слабее она отклоняется от своего первоначального направления.  $\alpha$  - частица имеет трек практически не изломанный. Хотя иногда возможно упругое столкновение, при котором энергия почти не меняется, но меняется направление движения.

При больших энергиях электрона возможно неупругое прохождение вблизи атомного ядра - торможение с потерей энергии и скорости. При этом происходит испускание фотонов тормозного излучения. Образование фотонов тормозного излучения происходит при энергии электрона порядка 1 МэВ. При прохождении пучка электронов высокой энергии происходит образование рентгеновского и  $\gamma$  - излучений. Фотоны с энергиями 0,2-0,25 МэВ - рентгеновское, а с более высокими энергиями -  $\gamma$  - излучение.

Вторую группу составляют излучения, не имеющие электрического заряда, - нейтронные, рентгеновские и гамма-излучения. Они передают свою энергию в веществе сначала электронам и положительно заряженным ядрам атома, сталкиваясь (взаимодействуя) с ними, а затем уже электроны и ядра атомов производят ионизацию атомов и молекул. Таким образом, в этом случае ионизация происходит опосредованно, поэтому излучения этой группы иногда называют косвенно ионизирующими излучениями.

Фотоны большой энергии при прохождении через вещество, растрачивают свою энергию не постепенно, как быстрые частицы, а одновременно или в несколько приемов большими порциями. Фотоны различных энергий могут участвовать в трех процессах передачи энергии:

1) Комpton-эффект - передача значительной части энергии первичного фотона электрону, а оставшуюся энергию другому фотону, называемому вторичным или рассеянным;

2) фотоэффект;

3) образование пар.

Фотоны и нейтроны обладают самой большой проникающей способностью, и длина их пробега в воздухе достигает сотни метров. Радиоактивные вещества обладают радиоактивностью только определенное время, пока в них происходят ядерные

превращения. По истечении этого времени они теряют свои свойства и становятся не радиоактивными, превращаясь в стабильные изотопы. Все ионизирующие излучения обладают универсальным свойством вызывать ионизацию вещества, но на единицу пути в тканях различные излучения тратят свою энергию не одинаково. Поэтому, чтобы иметь представление о плотности ионизации (количество пар ионов разного знака на единицу пути в веществе) вдоль траектории частиц, пользуются понятием "линейная передача энергии", выражая ее в килоэлектрон-вольтах на  $10^{-6}$  м  $\sim 1$  мкм. Линейная передача энергии зависит от состава и плотности вещества, в котором перемещается заряженная частица или фотон, и для различных видов излучения различна.

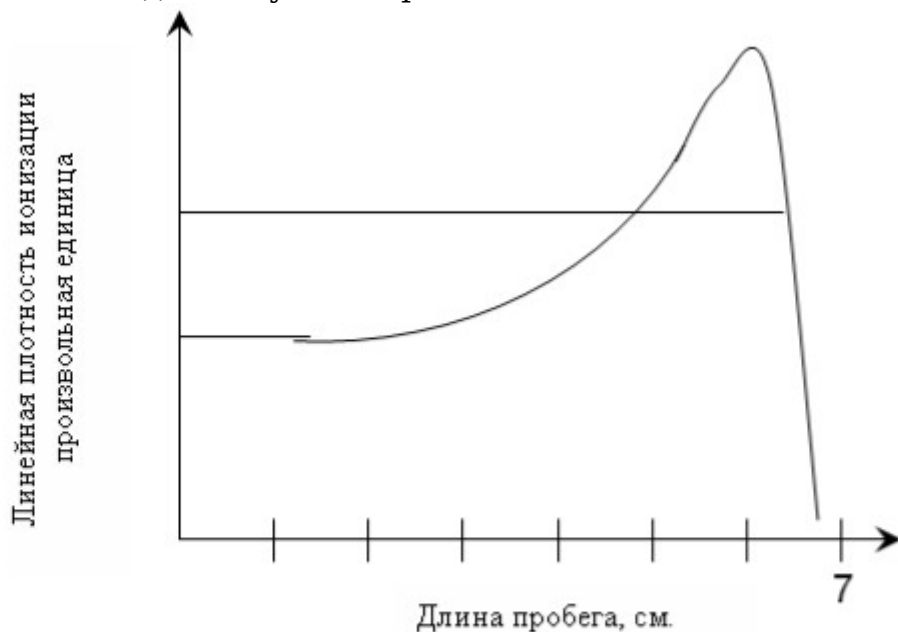


Рис. 3.1 Зависимость линейной плотности ионизации от длины пробега в воздухе для  $\alpha$  частиц RoC

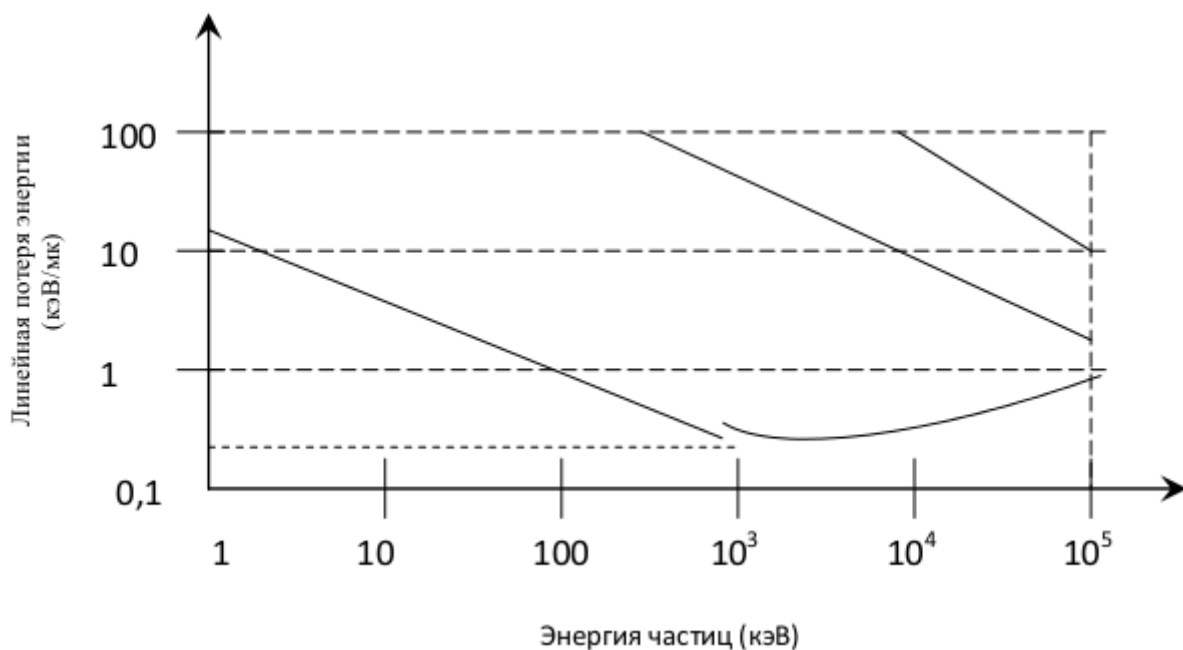


Рис.

3.2

Зависимость линейной потери энергии в воде от энергии частиц

- 1 - электроны;
- 2 - протоны;
- 3 -  $\alpha$  - частицы

Важное значение имеет количественная оценка степени воздействия ионизирующего излучения на различные объекты, в том числе на живые организмы, т.е. дозиметрия. Особую путаницу вносит то обстоятельство, что не всегда используются одинаковые

термины и единицы измерений.

## 2. Обосновать связь ритмов биологических объектов с частотой колебаний эндовибратора земли.

следует выделить колебания электромагнитного поля, которое является одним из наиболее глобальных геомагнитных факторов, постоянно существующих с момента возникновения на Земле атмосферы. Генератором этих колебаний являются грозовые разряды, происходящие в среднем каждые 2 секунды. В ответ на периодические изменения внешних условий в биосистемах происходят циклические перестройки, направленные на приспособление к среде существования. В зависимости от частоты, длительности, мощности и характера внешнего воздействия в организме на разных уровнях «включаются те или иные механизмы». Однако колебательные процессы, рассматриваемые биоритмологией (которая в 1964 году оформилась в самостоятельную науку) имеют периоды: годы, недели, дни и поэтому весьма специфично влияют на биологические объекты. Нами подобные длительные циклы рассматриваться не будут. Ниже мы будем рассматривать лишь влияние на биообъекты колебаний с гораздо большей частотой. Но с учетом специфики живого ясно, что «слабые» воздействия могут проявиться не сразу, вдруг, а постепенно при продолжительном воздействии. Что затрудняет эксперимент, лишая его наглядности воздействие-ответ.

На рисунке 1.1 представлена зависимость изменения на поверхности Земли напряженности переменного электромагнитного поля. Здесь же приведена микропульсация напряжённости поля (шумы естественного происхождения), которые в отдельных областях частотного спектра ЭМП достигают 20% от усреднённой напряженности поля на поверхности Земли.

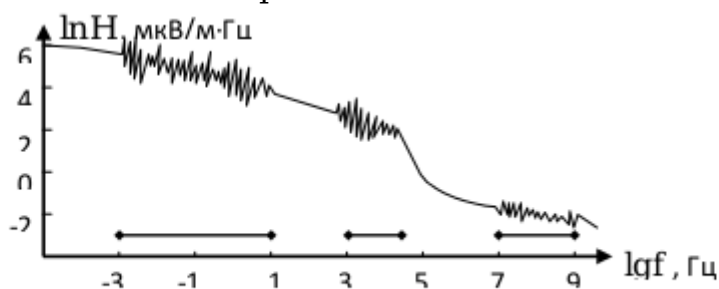


Рис.1.1. Изменение напряжённости электромагнитного поля на поверхности Земли с частотой.

Легко видеть, что сколько-нибудь выраженные флуктуации напряженности ЭМП естественного происхождения на поверхности Земли отсутствуют только в инфранизком диапазоне, а также на частотах  $\sim 10^6 > \nu > 10^9$  Гц.

Отметим, что именно на этих частотах регистрируется в эксперименте биологическое влияние переменного ЭМП. Очевидно, это является нормальным, так как устойчивые колебания естественного ЭМП только при отсутствии шумов способны обеспечить нормальный и согласованный ритм функционирования биохимических процессов в клетке.

Из всего сказанного следует сделать вывод: для нормализации биохимических процессов в клетке необходимо направленно взаимодействовать на биообъект искусственными полями, с частотами, отвечающими биологически активным интервалам естественного фона и интенсивностью на 1-2 порядка выше интенсивности шума искусственного происхождения.

## 3. Провести анализ основных особенностей воздействия миллиметровых волн на биологические объекты.

Несмотря на то, что поглощенная доза выражается в энергетических единицах, действие ионизирующих излучений отнюдь не сводится к передаче объекту энергии, равной по количеству этой дозе, независимо от вида этой энергии. Наоборот, ни один вид энергии, поглощенный БО в том же количестве, не приводит к таким изменениям, какие происходят от ионизирующих лучей.

Достаточно сказать, что энергия, поглощенная человеком при смертельной дозе облучения ионизирующей радиацией, привела бы в случае превращения ее в тепловую энергию к нагреву организма лишь на 0,0010 С.

Таким образом, особенности биологического действия радиации связаны не с количеством переданной энергии, а с формой, в которой эта энергия передается объекту.

Когда поглощение энергии и ионизация происходят внутри макромолекул, говорят о «прямом» действии радиации. ионизация гораздо более эффективна в поражении белковой молекулы, чем акты возбуждения, возникающие при поглощении частиц с энергией, несколько меньшей, чем потенциал ионизации.

Однако роль актов возбуждения молекул в лучевом поражении клетки еще не ясна. Хотя больше половины энергии ионизирующих лучей поглощается в объекте в актах возбуждения молекул, прямых доказательств влияния этой энергии на поражение клетки пока не имеется.

Приведенные опыты показывают порог энергии частиц, с которого начинается процесс лучевой инактивации ферментов. Но по ним нельзя судить о минимальной энергии, необходимой для поражения одной белковой молекулы при прямом действии излучения.

**«Косвенное» действие** ионизирующих излучений связано с появлением активных радикалов, образующихся при радиолизе воды («активированная вода»). число пораженных макромолекул, облучаемых в растворе, зависит лишь от дозы облучения, но не зависит от концентрации самих молекул. Для ряда ферментов ионный выход инактивации в широком диапазоне концентраций постоянен. Под «кислородным эффектом» понимается усиление лучевого поражения при введении кислорода по сравнению с уровнем поражения при анаэробном облучении. Это явление универсально и проявляется при редко ионизирующих излучениях почти на все виды живой материи и многие макромолекулярные процессы. Количественно «кислородный эффект» выражается отношением доз, вызывающих одинаковое поражение при поражении в анаэробных и аэробных условиях.

### 1. Провести анализ «прямого» действия радиационного излучения на биологические объекты.

Свойство веществ самопроизвольно превращаться в другие, испуская при этом различные элементарные частицы или фотоны, называется радиоактивностью. Радиационное излучение – ионизирующее излучение, выделяемое радиоактивными атомами (частицами). Говоря о воздействии радиации на БО имеет значение не количество энергии переданной организму, а ее форма.

Различают прямое и косвенное воздействие радиационного излучения на БО. Когда поглощение энергии и ионизация происходят внутри макромолекул, говорят о «прямом» действии радиации.

То есть под прямым воздействием понимают непосредственно ионизирующее воздействие радиации. Наиболее сильно радиация воздействует на ферменты, прекращая или замедляя их активность – наиболее сильное влияние имеет радиационное излучение около  $10\text{эВ}$  – близкое к энергии ионизации белковых молекул. Чтобы характеризовать степень воздействия на БО существует понятие дозы облучения, которая основывается на теории попаданий. Так например  $D_{37}$  – средняя летальная доза (приводит к смерти в большинстве случаев, 37% попаданий).

### 2. Обосновать процессы воздействия магнитного поля на воду.

Вода выталкивается из магнитного поля. Вода — диамагнетик. Степень воздействия магнитного поля на воду определяется концентрацией примесей. Под воздействием магнитной обработки достоверно меняются: плотность, электрическая проводимость, вязкость, поверхностное натяжение, растворимость газов, скорость растворения солей, скорость фазовых переходов, адсорбция из раствора.

Имеется более сорока гипотез объясняющих механизм воздействия магнитного поля на жидкости, в частности воду.

1. Предположение, что магнитная обработка изменяет структуру воды, образует новые водородные связи, противоречит экспериментам по возрастанию скорости растворения солей, и энергетическим расчетам.

2. Долго считали, что под действием силы Гуйе  $F_1$  ферромагнитные частицы начинают двигаться создавая микропотоки во всем объеме. Но магнитная обработка изменяет свойства неорганических кислот - соляной, серной. А в кислотах железо содержится только в виде ионов. Т.е. основным действующим элементом являются не частицы железа, а примеси.

### 3. Определить нетепловые эффекты воздействия миллиметровых волн на биологические объекты.

Волны КВЧ диапазона (мм волны) сильно поглощаются водой и группами молекул воды, а также клетками. Причина этому в том, что молекулы воды имеют собственную частоту колебаний, а мм волны входят в резонанс с этими собственными колебаниями. При воздействии мм волн на клетки увеличивается проницаемость мембраны. Возбужденные КВЧ излучением молекулы воды могут занять в белковых молекулах вакантное место и активизировать белок (фермент) переведя его в активное состояние. Активные ферменты вырабатывают полезные вещества.

Следовательно можно сделать вывод что КВЧ волны небольшой интенсивности в умеренных количествах благотворно влияют на БО.



**1. Провести анализ «косвенного» действия радиации.**

«Косвенное» действие ионизирующих излучений связано с появлением активных радикалов, образующихся при радиолизе воды («активированная вода»). В соответствии с этой теорией поражение макромолекул в растворе и структур живых клеток осуществляется радикалами  $\text{H}\cdot$ ,  $\text{OH}\cdot$  и  $\text{HO}_2\cdot$ , а также перекисью водорода, образующимся в результате ионизации молекул воды и последующих радиационно-химических превращений. Обычно принимается, что вслед за ионизацией ( $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^+ + e^-$ ) происходит захват электрона другой молекулой воды ( $\text{H}_2\text{O} + e^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}^-$ ), а образующиеся нестабильные ионы диссоциируют с образованием свободных радикалов ( $\text{H}_2\text{O}^+ \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}\cdot$ ,  $\text{H}_2\text{O}^- \rightarrow \text{OH}\cdot + \text{H}^\cdot$ ). Ионы  $\text{H}\cdot$  и  $\text{OH}\cdot$  обладают высокой реакционной способностью и воздействуют на макромолекулы и биологические структуры. С этим взаимодействием конкурирует процесс рекомбинации радикалов ( $\text{H}^\cdot + \text{H}^\cdot \rightarrow \text{H}_2$ ;  $\text{OH}\cdot + \text{OH}\cdot \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$ ), а так же захвата атомарного водорода кислородом с образованием свободного радикала  $\text{H}_2\text{OO}\cdot$ , которому, в свою очередь, придавали важное значение. Представление о косвенном излучении опиралось на существование трех явлений, которые, казалось, не находили объяснения с позиции теории прямого действия. Это - «эффект разведения», «кислородный эффект» и защитное действие многих химических веществ, присутствующих в облучаемой среде наряду с объектом. Прежде всего, оказалось, что число пораженных макромолекул, облучаемых в растворе, зависит лишь от дозы облучения, но не зависит от концентрации самих молекул. Для ряда ферментов ионный выход инактивации в широком диапазоне концентраций постоянен. С позиции косвенного действия радиации эта особенность инактивации макромолекул в водных растворах объясняется тем, что все радикалы, возникающие при радиолизе воды, «разбираются» белковыми молекулами, и поэтому естественно, что независимо от общей концентрации белка число пораженных ею молекул при данной дозе облучения всегда постоянно. Лишь при очень малой концентрации белки-радикалы, не успев столкнуться с белковыми молекулами, рекомбинируют друг с другом, уменьшая ионный выход. При очень больших концентрациях белка ионный выход начинает возрастать за счет вклада прямого действия, при котором число инактивированных молекул должно расти пропорционально концентрации. Подобный «эффект разведения» до настоящего времени служит доказательством существования косвенного действия в модельных экспериментах. Для исследования же механизма действия радиации на клеточном уровне, естественно, критерий «эффекта разведения» использован быть не может. Под «кислородным эффектом» понимается усиление лучевого поражения при введении кислорода по сравнению с уровнем поражения при анаэробном облучении. Это явление универсально и проявляется при редко ионизирующих излучениях почти на все виды живой материи и многие макромолекулярные процессы. Количественно «кислородный эффект» выражается отношением доз, вызывающих одинаковое поражение при поражении в анаэробных и аэробных условиях. В большинстве случаев при замене бескислородной среды на обычный воздух радиочувствительность живых объектов повышается в 2-3 раза. Важным аргументом в пользу теории косвенного действия является также возможность уменьшить поражение путем использования защитных веществ, вводимых в объект или окружающую среду перед облучением. Показано, что вводимый в облучаемый раствор карбоксипептидазы многих органических (белки, сахар, аминокислота) и неорганических веществ резко снижает поражение этого фермента. К числу наиболее эффективных протекторов относятся вещества, в состав которых входит SH-группа (дистеалин, глутатион и др.), активные восстановители, вещества, связывающие  $\text{O}_2$ . С позиции теории косвенного действия влияние этих протекторов трактуется как результат конкурентного перехвата ими в воде свободных радикалов или уменьшения поражающего действия кислорода за счет снижения его концентрации в среде и меньшего образования радикалов, в том числе  $\text{HO}_2^\cdot$  и т.п. Это находит подтверждение также в неэффективности защиты от действия сильноионизирующих частиц, т.е. в случаях, когда не наблюдается «кислородный

эффект».

## 2. Сравнить пьезоэлектрический и сейсмоэлектрический эффекты.

О прямом и обратном сейсмоэлектрических. Прямой эффект – возникновение разности потенциалов между соседними точками капиллярно-пористой горной породы при прохождении через нее упругой волны. Обратный эффект – возникновение упругих колебаний в горной породе при импульсном или периодическом приложении к ней разности электрических потенциалов.

1. Образцы в форме цилиндра  $\varnothing$  3-4см  $h=4-12$ см. На торцах образцов графитовые пленки в виде контактов. а) Наблюдаются резонансные свойства прямого и обратного эффектов. Имеется 1-2 резонанса и несколько не кратных им на высших частотах. б) При обратном эффекте частота упругих колебаний в два раза выше, чем частота возбуждения. Одна из особенностей состоит в том, что имеется связанная вода.  $A_{упр} = kE^2$ .

при  $E=0$  частота упругих колебаний в 2 раза выше.

при  $E \neq 0$  на некоторых частотах эффект увеличения частоты пропадает, но амплитуда увеличивается.

Таковыми компонентами обладают биологические мембраны. Они состоят из двойного слоя липидов, обладающих гидроаробными свойствами, и встроенных в этот слой гидрофильных белковых структур. Мембраны содержат гидритированные ионные каналы. Мембранный потенциал создает в мембране постоянное электрическое поле напряженностью до 1000В/см. Таким образом, в биомембранах имеются все необходимые условия для проявления обратного сейсмоэлектрического эффекта 2-го разряда. Это положение подтверждается тем фактом, что функционирование ионных каналов биомембран имеет ритмический характер в диапазоне частот от долей до 30Гц. Например, в гладкомышечных клетках аорты человека были выявлены одиночные ионные каналы, частота перехода между открытым и закрытым состоянием у которых составляет 16,5Гц.

Изложенные факты позволяют выдвинуть следующее положение. В биологических структурах на различных уровнях их организации присутствуют колебания. Составной спектр, которых соответствует диапазону частот ЭМ колебаний в атмосферном волноводном эндовибраторе. Колебания ЭМ поля, преобразованные в колебания биологических структур по механизму “обратного сейсмоэлектрического эффекта”, закрепились в структурах в процессе эволюции и стали их неотъемлемым свойством. Этим и объясняется повышенная чувствительность живых организмов к внешним периодическим воздействиям с частотой 8 и 16Гц. Аналогичный пример мы уже приводили во введении о частоте колебания Са в биомембране 16,5Гц.

Существование собственных единых ритмов в изолированных клетках послужило основой их объединения в многоклеточные структуры. Этот факт следует рассматривать наряду с другими внешними факторами как начало формирования филогенетического ряда растительного и животного мира. С этих же позиций можно рассмотреть систему безнервной передачи возбуждения в эпителиальных тканях на различных уровнях филогенеза.

Пьезоэл. Предполагается, что это конформационные колебания молекул белка, заключающиеся в образовании складок, скручивании или сжатии полипептидных цепей. Происходящие при этом изменения гидрофильно-гидрофобных свойств поверхности белковых молекул вызывают соответствующую перестройку структуры воды. В результате распространяются “гидрофильно-гидрофобные волны”, посредством которых достигается синхронизация колебаний в макрообъеме белка. Но при конформационных колебаниях белковых молекул на их поверхности происходит смещение электрических зарядов, а значит, возможно взаимодействие ЭМП соответствующих частот с этими колебаниями. Возможен также пьезоэлектрический резонанс, обусловленный взаимодействием упругих волн вызванных ЭМП, с дефектами и неоднородностями вещества, как поверхностными, так и внутренними. Упругие волны появляются в таких веществах, в которых есть хотя бы небольшие области с пьезоэлектрическими свойствами. Таким образом, может иметь место механизм

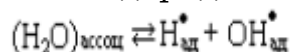
действия ЭМП на макромолекулярный ансамбль.

### 3. Дать оценку процесса диссоциации воды под действием СВЧ-излучения.

Известно, что СВЧ электромагнитная энергия эффективно поглощается толщей воды. Общепринятый механизм этого явления объясняет поглощение как следствие возбуждения конформационных и вращательных степеней свободы молекул воды, возбуждение ее межмолекулярных водородных связей (энергия водородных связей в воде  $< 0,2$  эВ). Таким образом, поглощение ЭМ энергии приводит к увеличению кинетической энергии молекул воды, т.е. к повышению ее температуры.

Однако следует отметить, что жидкая вода, глубоко ассоциированная жидкость с двумя сильно различающимися типами связей химическими, валентными связями О-Н (энергия связи в газовой фазе - 5 эВ) и межмолекулярными водородными связями. Вода к тому же - сильно пространственно структурированная жидкость, имеющая различные типы неупорядоченности (ориентационная, позиционная, конформационная, ионная и др.). По совокупности макропризнаков (существующие экстремумы температурных характеристик плотности, теплоемкости, поляризуемости и др.) жидкую воду следует определить как динамически нестабильную (глубоко ассоциированную) полимерную систему. Для пространственных масштабов, сравнимых с размерами агрегатных образований (ассоциатов) вода уже не является изотропной средой. Следует предположить, что относительные смещения при поляризации свойственны также и ассоциатам воды; и поглощение ЭМ энергии увеличивает также кинетическую энергию этих полимероподобных структур. В таком случае, по крайней мере, часть потерь ЭМ энергии в воде можно трактовать как потери на вязкое трение, т.е. на процессы, связанные со сдвигом и деформациями ассоциативных структур воды. С другой стороны из механохимии полимеров известно, что появление градиентов сдвига в полимерах или в растворах полимеров сопровождается так называемым «химическим трением». При этом в молекулах полимеров (для воды - аналог — ассоциаты) закономерно происходит разрыв как слабых молекулярных связей - для воды водородных, так и сильных внутримолекулярных связей - для воды связь Н-ОН). При увеличении степени активности воды, например СВЧ э.м. Полем, увеличиваются градиенты сдвига структур воды, и закономерно должна нарастать доля разрывов внутримолекулярных связей. Были проведены экспериментальные исследования степени диссоциации молекул воды при поглощении СВЧ э.м. Энергии. В опытах степень диссоциации воды оценивалась измерением концентрации, появляющиеся в результате в воде пероксида водорода [ $\text{C}(\text{H}_2\text{O}_2)$ ] - продукта реакции рекомбинации гидроксил - радикалов ( $\text{OH}^* + \text{OH}^* \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$ ).

Вода активировалась СВЧ ЭМ излучением на двух частотах:  $f = 10$  ГГц и  $f = 2,5$  ГГц. Все опыты показали накопление  $\text{H}_2\text{O}_2$  в экспонированной СВЧ ЭМ энергией воде. Для  $f = 10$  ГГц пропорциональность поглощенной энергии и  $\text{C}(\text{H}_2\text{O}_2)$ , начиная с некоторого уровня удельной поглощенной энергии претерпевает излом, прекращает возрастать и даже начинает уменьшаться. Суть наблюдаемого уменьшения  $\text{C}(\text{H}_2\text{O}_2)$  состоит в убыстрении процессов каталитического разложения  $\text{H}_2\text{O}_2$  на переходных металлах и других катализаторах разложения  $\text{H}_2\text{O}_2$ , постепенно заражающих воду в кювете. Процессы диссоциации воды продолжаются при этом с прежней эффективностью, но метка протекания реакции диссоциации воды ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) перестает работать. В опытах с частотой  $f=10$  ГГц происходит эффективное конвективное омывание стенок кювета водой и вымывание катализаторов разложения  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Полученные результаты подтверждают гипотезу: кинетическое возбуждение структур жидкой воды при поглощении СВЧ хотя бы отчасти приводит к вязким потерям, которые из-за механохимических реакции заканчивается распадом воды. Действие ЭМ поля на жидкую воду приводит к механической диссоциации ассоциированной воды с образованием сольватированных атомов водорода и гидрокал - радикалов:



**1. Дать оценку модифицирующему действию примесей при прямом действии радиации.**

Было обнаружено, что в условиях прямого действия радиации, на величине поражения сказывается влияние различных примесей. В опытах с облучением ферментов в сухом виде инактивирующая доза зависела от того, в присутствии каких веществ осаждался и высушивался белок перед облучением. Некоторые вещества оказывали защитное действие, другие (например, ацетат) - усиливали поражение. Помимо химических примесей, модифицирующих лучевое поражение сухих объектов, большое влияние на радиочувствительность оказывают и малые количества воды. Здесь речь идет не о поражающем действии свободных радикалов, образующихся при радиолизе воды и обуславливающих косвенное действие радиации. Было обнаружено, что вода влияет на степень поражения и иными путями. Так, при облучении дезоксирибонуклеазы, содержащей воду лишь в соотношении 1:1, радиочувствительность уменьшилась почти вдвое. Аналогично этому, радиочувствительность семян, бактерий и других объектов при облучении сильно зависела от степени их влажности. Увеличение содержания воды от 4 до 12-16 % давало резкий защитный эффект, поражающее же действие сказывалось лишь при значительно больших увлажнениях (рис.3.13).

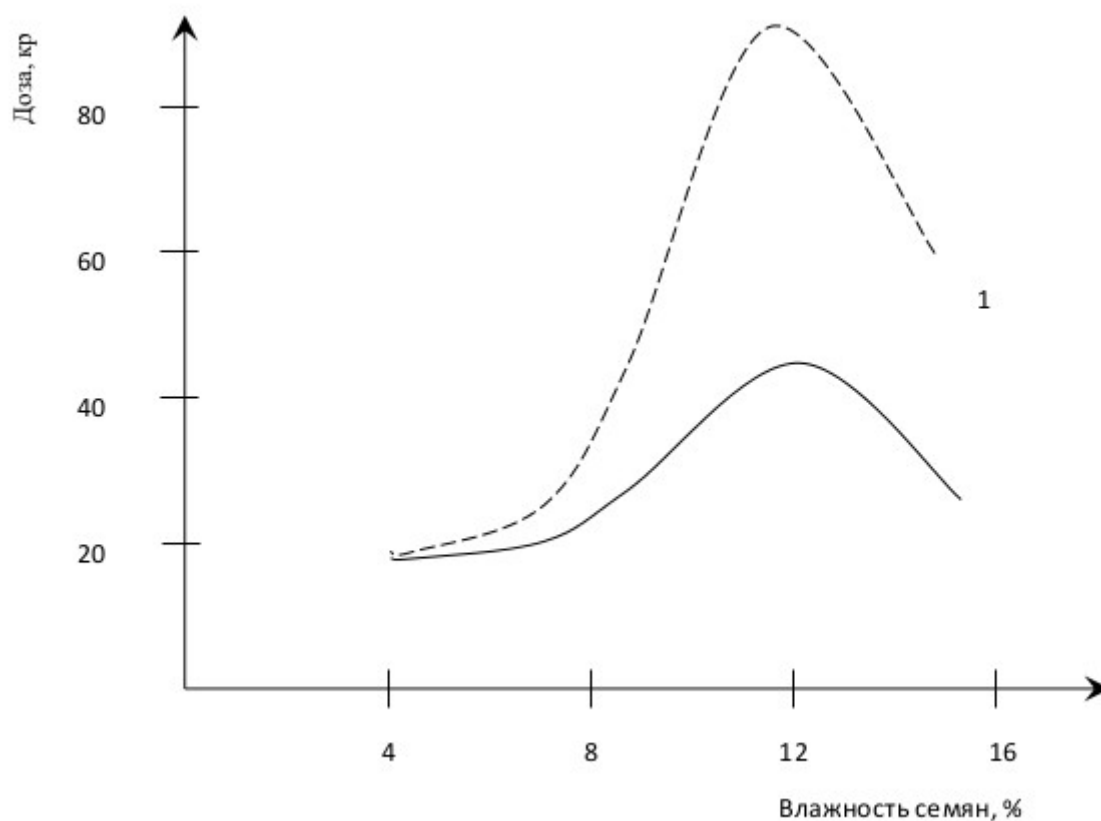


Рис. 3.13. Зависимость радиочувствительности семян от их влажности и облучения

1 - в отсутствие O<sub>2</sub>

2 - в присутствии O<sub>2</sub>

По оси ординат дозы, под влиянием которых рост растения уменьшился в 2 раза

**2. Провести анализ действия механорецепторов.**

По восприятиям внешних воздействий рецепторы принято дифференцировать на хемотермо- и механорецепторы. Механорецепторы следует считать силой распространяемой группой рецепторов. Они представлены практически во всех частях организма в виде свободных нервных окончаний, мускульных веретен, рецепторов, кожных, тактильных рецепторов и др.

Кожу можно рассматривать как большую сенсорную поверхность, в которой в процессе эволюции сгруппировались структуры, приспособленные к восприятию



различных раздражений. Рецепция кожи складывается из трех разновидностей: тактильной (осязание), температурной и болевой. В коже, покрытой волосами, тактильные рецепторы находятся в виде нервных плетений вокруг волосяной луковицы. В коже, лишенной волос, имеются специальные нервные концевые аппараты, воспринимающие тактильное раздражение – тельца Мейснера, обладающие тонкой соединительной капсулой. Они располагаются в глубоких слоях кожи. В эпителии кожи рук, ног, груди, спины и других местах расположены тельца Меркеля или осязательные диски.

Тактильное ощущение возникает только в том случае, если механическое возбуждение вызывает деформацию кожной поверхности. При действии давления на очень малый участок наибольшая деформация отмечается непосредственно в том месте, где приложен возбудитель. Сила ощущений давления зависит от скорости, с которой совершается деформация кожи. Поскольку механорецепторы распределены в коже неравномерно и на различной глубине, участки кожи обладают различными порогами чувствительности. Ощущение механического возбуждения локализуется весьма точно. Минимальное расстояние, при котором возможно восприятие двух одновременных механических раздражений, называется дифференциальным порогом, который находится в обратной пропорциональной зависимости по отношению к порогу чувствительности. Наибольшая чувствительность к вибровозбуждениям наблюдается на кончике языка и кончике ногтевых фаланг пальцев рук и в подошве ног, где дифференциальный порог составляет 1,1мм.

Р.Гранит указывает, что рецепторные поля волокон, воспринимающих давление, имеют размеры 1-2мм<sup>2</sup>, на лапах кошки они достигают 3мм<sup>2</sup>, на волосистых участках – примерно в 10 раз больше. Величина порогового давления составляет 2-3г/мм<sup>2</sup>.

Рассматривая вибрационную чувствительность кожи, отмечают, что вибрация хорошо ощущается в коже, покрывающей как мягкие ткани, так и при костной подкладке. Обнаружено, что максимальная чувствительность находится в диапазоне частот 106-320Гц. В этом диапазоне кожные рецепторы ощущают разницу в воздействующих частотах в зависимости от их величины. Например, частота 24Гц по ощущениям дифференцируется с частотой 24,66Гц, т.е. рецепторы выявляют различие в 0,66Гц (2,75%), а частота 170,66Гц дифференцируется с частотой 173,33Гц, т.е. разница в 2,6Гц (1,26%). Максимальный размах амплитуды, вызывающей болевые ощущения, зависит от частоты и равен 1-2мм в диапазоне частот 16-96Гц и 0,1-0,2мм при частотах более 512Гц.

Из всех видов кожных механорецепторов наиболее изучены виброрецепторы – тельца Пачини, впервые описанные Лемановым в 1741 г. Относительно крупные размеры (0,5–1,0 мм) и сравнительная доступность для изучения постоянно привлекают к ним внимание исследователей разных направлений.

Тельца Пачини можно рассматривать как наиболее организованные сенсорные окончания, являющиеся механобиоэлектрическими преобразователями дискретного типа. Они располагаются в зонах, наиболее приспособленных для восприятия информации, связанной с механическим воздействием: кисти рук, подошвы ног.

### 3. Сравнить частотные зависимости эффекта воздействия миллиметровых волн на человека.

Где-то в конце методы, см. 14 билет, 3 вопрос.

## 1. Провести анализ миграции заряда и энергии по биоструктуре при радиационном воздействии.

Макромолекула белка в результате облучения не распадается на большие осколки, поскольку структура ее удерживается многими связями, в частности, большим числом водородных связей. Установлено, что при ионизации рвутся не любые, а лишь определенные связи. При лучевой инактивации ферментов рвутся главным образом S-S-«мостики», соединяющие разные участки полипептидной цепи и тем самым способствующие поддержанию уникальной пространственной структуры данного сорта белковых молекул. Это также свидетельствует о большой роли внутримолекулярной миграции энергии, предшествующей конечному эффекту.

Детальный механизм миграции энергии, переданный объекту ионизирующим излучением, еще недостаточно ясен, однако утилизация этой энергии уже после соответствующих миграционных л-процессов, по-видимому, представляет собой универсальное явление, а не отдельный частный случай. При облучении живых клеток, где макромолекулы входят в состав тонких субмикроскопических структур, характеризующейся упорядоченной организацией и пространственным сопряжением, поражение может усиливаться за счет миграции энергии к наиболее чувствительным жизненно важным участкам микроструктуры. Методами электронного парамагнитного резонанса показано, что возникновение радикальных состояний в облученных макромолекулах белков и нуклеиновых кислот, миграция неспаренных электронов и локализация их в строго определенных местах, где они сохраняются в течение длительного времени. Одним из мест локализации неспаренных электронов в белке является, по-видимому, S-S-связь, хотя имеется и другой тип электронных ловушек. Из сопоставления статистического распределения ионизации в объеме и среднего расстояния между атомами серы в молекуле инсулина, строение которого сейчас уже расшифровано, был сделан вывод о миграции первичного повреждения на расстояния, разделяющие, по крайней мере, несколько аминокислот. Существование миграционных процессов приводит также к тому, что спектры ЭМП облученных белков совершенно не отражают особенностей спектров отдельных аминокислот, носящий специфический и индивидуальный характер при облучении последних по отдельности, вне белка. При соединении аминокислот в белковую молекулу возникают новые, характерные для всей структуры «ловушки» неспаренных электронов, в которых последние локализуются независимо от того, где первоначально произошла ионизация молекулы.

В зависимости от того, какой из компонентов комплекса является донором или акцептором энергии, возможна репарация повреждения интересующего нас объекта или же, наоборот, усиление его повреждения по сравнению с отдельным их облучением. Существование подобного «миграционного» пути защиты и усиления поражения подтверждается и результатами исследований методом ЭПР.

## 2. Дать оценку ферментативной активности белка от частоты вибрации.

В качестве объекта исследования выбрали актомиозин (АМ). Основной характеристикой данного белкового комплекса, которая определяет его биологическую сущность, является фундаментальная функция, необходимая для генерации энергии. Поэтому оценку реакции АМ на действие вибрации следует проводить по изменению ферментативной, или, точнее говоря АТФ-азной активности, обеспечивающей систему необходимой энергией. АТФ-аза – это АМ скелетных мышц, ферментативная активность которого оценивалась по количеству неорганического фосфора (Рн) в пробе, образовавшегося в результате гидролиза АТФ актомиозином.

Экспериментально установлено, что структура актомиозина по своей природе чувствительна к механическим колебаниям и обнаруживает избирательную чувствительность к определенным частотам вибрации. Наиболее эффективной является частота 200 Гц, при которой актомиозин теряет 90% своей АТФ-азной активности.



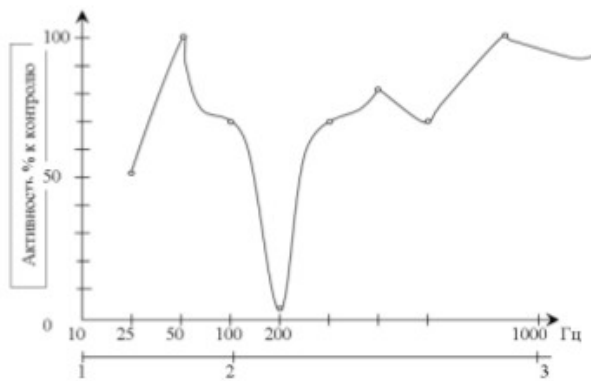


Рис. 4.10. Изменение АТФ-азной активности актомиозина в зависимости от частоты. Продолжительность вибрации 30 мин. при постоянном ускорении 5g

Нет и намека на какую-либо тенденцию к линейной зависимости между степенью альтерации и частотой вибрации. Тем не менее, с некоторой долей вероятности можно обнаружить ступенеобразующую реакцию белка на вибрацию.

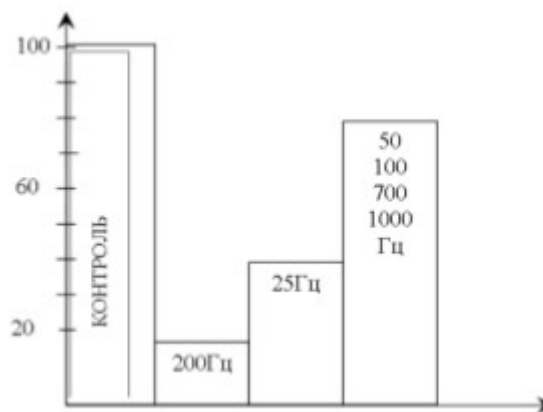


Рис. 4.11. Реакция белка на вибрацию

Так при вибрации 50Гц активность  $A_i$  падает до 87%. Близка к этому уровню АТФ-азная активность (до 85%) наблюдается при вибрации с частотами 50, 100, 700 и 1000Гц. Совсем другой уровень подавления активности наблюдается после вибрации с частотой 25Гц. Остаточная активность белка 60,4% по сравнению с контролем. При 200Гц сохраняется не более 10-15% от АТФ-азной активности белка контрольных проб.

### 3. Обосновать применение КВЧ-излучения в медицине.

Основной особенностью влияния миллиметровых волн низкой интенсивности на живые организмы является то, что квант энергии этих физических факторов нетепловой интенсивности на один - два порядка ниже тепловой энергии молекул  $kT_0$ . Такой энергии достаточно для вращения молекул вокруг связи и, возможно, изменения конформационных состояний, но не достаточно для разрыва связей в атомно-молекулярных комплексах. ММ терапия имеет ряд особенностей, которые привлекают по сравнению с другими методами лечения: неинвазивность, возможность использования в качестве монотерапии, а также хорошая сочетаемость с медикаментозными методами лечения, отсутствие аллергии, побочных эффектов и отдельных последствий, полилечебные эффекты. Хорошая переносимость больными процедур лечения. ММ-терапия улучшает иммунный статус организма, уменьшая последствия стрессовых воздействий на организм. Сильно взаимодействуя с молекулой воды, мм волны могут существенно изменять ее свойства, как с внешней, так и с внутренней стороны мембраны за счет конвективного движения жидкости. Известно, что многие биохимические (мембранные) процессы чувствительны к перемешиванию среды. Экспериментально показано, что миллиметровые волны низкой интенсивности могут привести к ускорению активного транспорта ионов  $Na^+$  + изменению проницаемости мембран эритроцитов для ионов  $K^+$ , ускорению перекисного окисления липидов в лизосомах, к увеличению ионной проницаемости бислоевых липидных мембран. Из серии экспериментов, сделан вывод, что конвекция, снимающая диффузионные ограничения в жидкой среде, а также внутри клетки, является одним

из первичных механизмов действия мм волн на процессы жизнедеятельности. С конвекцией может быть связано изменение транспорта ионов и различных веществ, определяющих процессы жизнедеятельности клеток.

Так при изучении действия мм волн на кроветворную систему и первичные опухоли животных (мышей) получены следующие результаты. Во-первых, подтверждены зависимости БЭ от частоты и мощности. Далее показано, что при комбинированном действии мм волн с противоопухолевыми препаратами или рентгеновским излучением (основные лечебные факторы в онкологической практике) указанные волны снижают в значительной степени поражение кроветворной системы (побочные факторы действия лечебных средств) а на уровне стволовых клеток костного мозга усиливают их пролиферативную активность. Более того, действие мм волн в комбинации с другими факторами может привести также к дополнительному торможению роста злокачественных образований по сравнению с действием рентгеновского излучения или химиопрепаратов. БЭ усиливается при использовании девиации частоты в небольших пределах относительно средней частоты КВЧ генератора (50–100 МГц), а также не зависит от дозы облучения, что имеет место при использовании ионизирующих излучений. Мм излучения используются в качестве эффективного физиотерапевтического средства. Мм волны могут быть использованы в качестве монотерапии, а также в составе с другими методами лечения. Число болезней, при лечении которых успешно используются мм волны, составляет около 30. ЭМ мм волна непосредственно действует на следующие анатомические структуры кожи: рецепторы, в том числе свободные нервные окончания, микро капиллярное русло и демо иммунокомпетентных Т-лимфоузлов.

# 1. Провести анализ кислородных последствий при радиационном поражении.

Кислородным эффектом называют явление усиления лучевого поражения в присутствии кислорода по сравнению с эффектом облучения в анаэробных условиях (рис. 8).

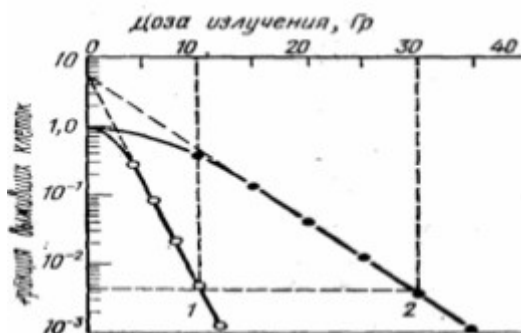


Рис. 8 Кривые выживаемости клеток, подвергнутых облучению: 1 — в воздухе, 2 — в азоте (Ярмоненко, 1984)

Кислородный эффект — универсальное явление в радиобиологии — обнаружен на всех уровнях биологической организации. Механизм радиомодифицирующего действия кислорода до конца не ясен. Наиболее признанной является следующая точка зрения: являясь бирадикалом, кислород активно взаимодействует с радикалами биологических макромолекул, образующимися при лучевом воздействии, с образованием перекисей и гидро перекисей. Результатом такого взаимодействия является «фиксация» возникших в макромолекулах потенциальных повреждений, что затрудняет или делает невозможной репарацию повреждений. Потенциальными называют лучевые изменения макромолекул, которые сами по себе не ведут к потере их активности, но, будучи фиксированы кислородом, переходят в явные повреждения. Кислородный эффект, как и действие других химических модификаторов поражения, наиболее выражен при действии редкоионизирующих излучений. С повышением ЛПЭ величина кислородного эффекта быстро уменьшается и при облучении, становится равным нулю. Радиосенсибилизирующее действие кислорода при облучении животных клеток может проявиться только в том случае, если он присутствует непосредственно в момент облучения. В 50-х годах Л.Г. Греем с сотрудниками экспериментально была установлена зависимость кислородного эффекта от концентрации кислорода (рис. 9).

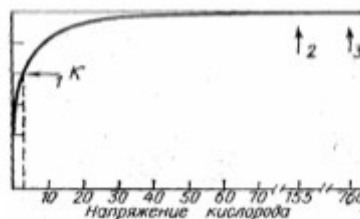


Рис. 9. Зависимость радиочувствительности клеток от концентрации кислорода (% от атмосферного) (Ярмоненко, 1984)

Радиочувствительность максимальна при концентрации кислорода 21% и не увеличивается при увеличении [O<sub>2</sub>]. Связь между концентрацией кислорода во время облучения и радиочувствительностью может быть описана зависимостью:  $S(O_2)/S(N_2) = (m[O_2] + K)/([O_2] + K)$ , где: [O<sub>2</sub>] — концентрация кислорода в среде; m — величина ККУ; K — константа, равная концентрации кислорода, при которой радиочувствительность данного объекта является промежуточной между максимальной и минимальной; S(O<sub>2</sub>) и S(N<sub>2</sub>) — радиочувствительность при облучении в присутствии кислорода и в условиях аноксии соответственно. На степень выраженности кислородного эффекта влияют

условия пострадиационного культивирования клеток. Таким образом, при лучевом поражении биологических объектов кислород, по выражению С.П. Ярмоненко, выступает в роли двуликого Януса – с одной стороны, усиливает первичные процессы поражения; с другой – облегчает восстановление.

## 2. Дать оценку изменению резистентности мышцы к температуре от частоты вибраций.

Изменение резистентности мышц к повышенной температуре после воздействия вибрации от 10 до 200Гц при 5g ускорении в течение 30 мин на каждой частоте определялось по времени полной потери возбудимости к электрическому току после 50 минут нахождения в рингеровском растворе нагретом до 44°C. Время полной потери возбудимости служило мерой резистентности мышц к повышенной температуре: чем меньше время переживания после нагрева, тем ниже резистентность. Цель опытов заключалась в том, чтобы выяснить, будет ли предварительная вибрация влиять на резистентность к повышенной температуре. Резистентность мышц к температуре, как и к действию любого повреждающего агента, является фундаментальной биологической характеристикой, интегральным выражением ее физико-химических и биологических свойств. Для изучения этого свойства в мышцах требуются иные по сравнению с АМ параметры механических колебаний (см. рис.4.17).

Частота 25Гц наиболее опасная, т.к. при этих условиях вибрации мышцы в большей степени теряют способность выдерживать действие повышенной температуры. Эта потеря резистентности составляет в среднем 30%. Вместе с тем обнаружены частоты вибрации, при которых резистентность мышц повышается. На частоте 100Гц, резистентность повышается на 20%.

Еще одно важное обстоятельство заслуживает внимания. Максимальный эффект вибрации, судя по изучению АТФ-азной активности, наблюдается при частоте 200Гц. Здесь же видим, что наиболее эффективная АМ частота практически никакого эффекта не вызывает, если оценивать результат действия вибрации по резистентности мышцы. Этот факт наводит на мысль, что АМ и его ферментативная активность не причастны к устойчивости мышцы, по крайней мере, к высокой температуре, т.е. условия обеспечивающие резистентность мышцы, прямо не связаны с АТФ-азной активностью.

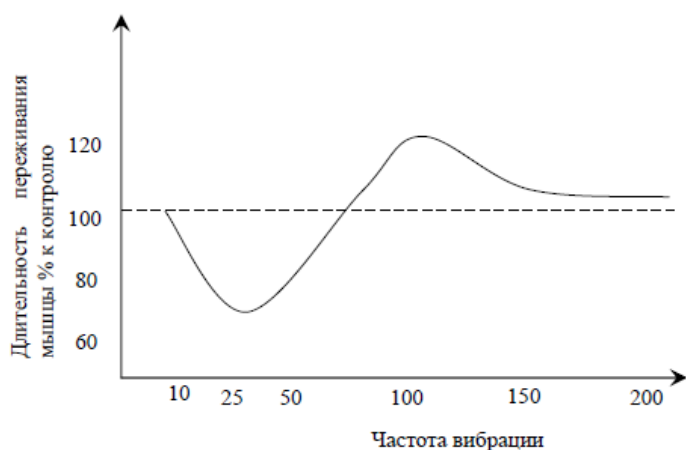


Рис. 4.17. Частотная зависимость влияния вибрации мышцы на ее резистентность к повышенной температуре.

В силу своей физической природы механические колебания имеют дело с конструкцией объекта, на который она действует, отсюда ясно, что к вибрации 25Гц чувствительна одна структура, к 100Гц – другая, 200Гц, как видно из анализа реакции АМ, - третья. Следовательно, появляется столь же реальная возможность избирательно действовать на структуру, ответственную за ту или иную биологическую функцию, или,

по крайней мере, связанную с этой функцией. При этом также как и раньше обнаруживается высокая добротность при данном резонансном явлении. Таким образом, имеет место обратимость структурных изменений вызванных вибрацией.

### 3. Обосновать изменение гидратации белков при воздействии миллиметровых волн.

Обобщая, и критически оценивая результаты практически всех доступных публикаций, можно предложить следующую концепцию механизма воздействия низко интенсивных миллиметровых волн на человека.

Как уже отмечено выше, мм излучение практически полностью поглощается в коже человека на глубине в несколько десятых миллиметра (эпидермис). Указанный факт обусловлен тем, что кожа содержит большое количество связанной и свободной воды, которая очень сильно поглощает мм волны.

Тем не менее, ЭМ мм волна непосредственно действует на следующие анатомические структуры кожи: рецепторы, в том числе свободные нервные окончания, микро капиллярное русло и демо иммунокомпетентных Т-лимфоузлов. Первоначально рецепция происходит на уровне молекул воды, связанных с рецепторами биологической (плазматической) мембраны клетки. Принципиальным является предположение о том, что основные биохимические процессы в клетке определяются работой мембранных рецепторов, активного и пассивного транспорта ионов, воды и других веществ через плазматическую мембрану. Работа рецепторов белковой природы в основном определяется числом гидратации (см. рис. 5.21). Функциональное состояние белков очень критично к явлению гидратации. Для белков имеется критическая гидратация, при превышении которой белок находится в функционально активном состоянии, а при меньшей гидратации - в функционально пассивном состоянии. Любая патология на уровне белковых рецепторов означает уменьшение числа гидратации.

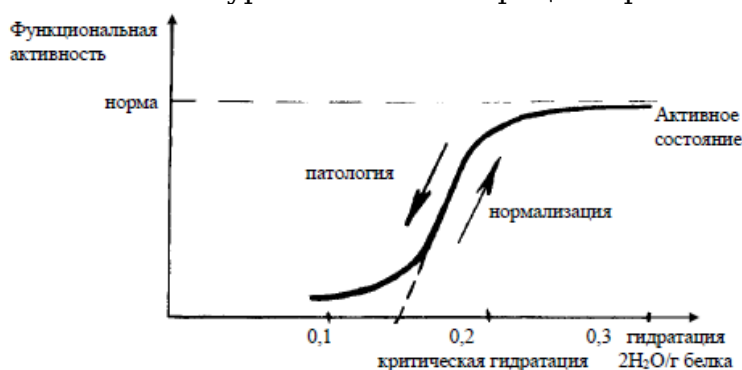


Рис. 5.21. Зависимость активности от гидратации.

Можно представить следующую цепочку воздействия мм волн на кожу. Вначале свободные молекулы воды поглощают волны. Часть из этих молекул вследствие увеличения вероятности соударения с белковыми рецепторами занимают вакантное место на белковых молекулах (эти вакансии появляются при начале патологического процесса, который сопровождается потерей белками молекул воды или при введении в работу резервных белковых рецепторов). Увеличение числа гидратации приводит к переводу белка в функционально активное состояние. Вследствие нормализации процессов метаболизма клетка начинает вырабатывать биологически активные вещества лечебного свойства, которые накапливаются в ней и выбрасываются частично в межклеточную среду. Вероятность преодоления критической гидратации слева направо возрастает под действием больших температурных градиентов на поверхности.

Известны два эксперимента, результаты которых могут быть косвенным подтверждением этих процессов. В первом случае изучали влияние низко интенсивных мм волн на электрические процессы в клетках зеленого листа. Нарушение биохимических процессов в зеленых клетках происходило при срезе листа с материнского растения. Анализ динамики разности потенциалов между внешней и внутренней поверхностями зеленой клетки свидетельствует о том, что происходят процессы, аналогичные тем, когда на клетки действует фотосинтетически активное излучение. Следовательно, в обоих случаях увеличивается синтез АТФ в клетке, универсального источника химической энергии земной клетки.

В другой работе объектом исследования являлись промышленно важные сине-зеленые водоросли (спирулина). Цель работы состояла в увеличении роста биомассы водорослей под действием ЭМ стимуляторов. В результате многолетних экспериментов показано, что под действием мм-волн существенно увеличивается рост биомассы (до 250%); при использовании

обычных химических стимуляторов роста эта величина составляет 20–40%. Кроме того, показано, что после мм стимуляции в культуральной жидкости выделяется большое количество различных биологически активных веществ, в том числе лечебных (аминокислоты, белки, витамины).



## 1. Обосновать наличие долгоживущих скрытых повреждений макромолекул.

Наблюдаемое в ряде случаев явление кислородного последствия доказывает, что при облучении возникают долгоживущие скрытые повреждения макромолекул. Так, при облучении сухого пепсина в анаэробных условиях с последующей проверкой активности также без доступа  $O_2$  лучевая инаktivация вообще отсутствует вплоть до доз, при которых при облучении на воздухе терялось 50-60 % активности. Пострадиационное введение сухого кислорода также не оказывалось, если впоследствии растворение белка и проверка активности проводилась вновь анаэробно. Если же последние процедуры проводились в присутствии и  $O_2$ , то наблюдалось кислородное последствие, в результате которого активность фермента снижалась до уровня, соответствующего аэробному облучению. Подобные опыты показывают, что лучевое поражение на физическом уровне исследования осуществляются в два этапа: вначале создается скрытое долгоживущее повреждение, которое в дальнейшем может реализоваться в явное поражение при воздействии кислорода и наличии определенных условий.

При облучении белков, на первом этапе ферментивная активность сохраняется, а инаktivация осуществляется лишь при воздействии кислорода.

Известно, что в ряде случаев поражение не ограничивается временем облучения, а в определенных условиях продолжает развиваться и после его окончания. В живых объектах эти пострадиационные эффекты, возможно обусловлены нарушением слаженности обмена веществ и являются следствием лучевой болезни. Однако было обнаружено, что явления последствия наблюдаются и в модельных системах.

Облученные растворы ферментов при инкубации их при низких температурах, практически не сказывающейся на активности интактных образцов, теряют дополнительно часть активности, которая зависит от степени поражения «под лучом». Активируемое теплом дополнительное поражение в пострадиационный период наблюдается у многих объектов. Все это свидетельствует о том, что часть молекул, сохранившая после облучения свои нативные свойства, содержит скрытые повреждения, которые могут проявиться впоследствии при некотором повышении температуры.

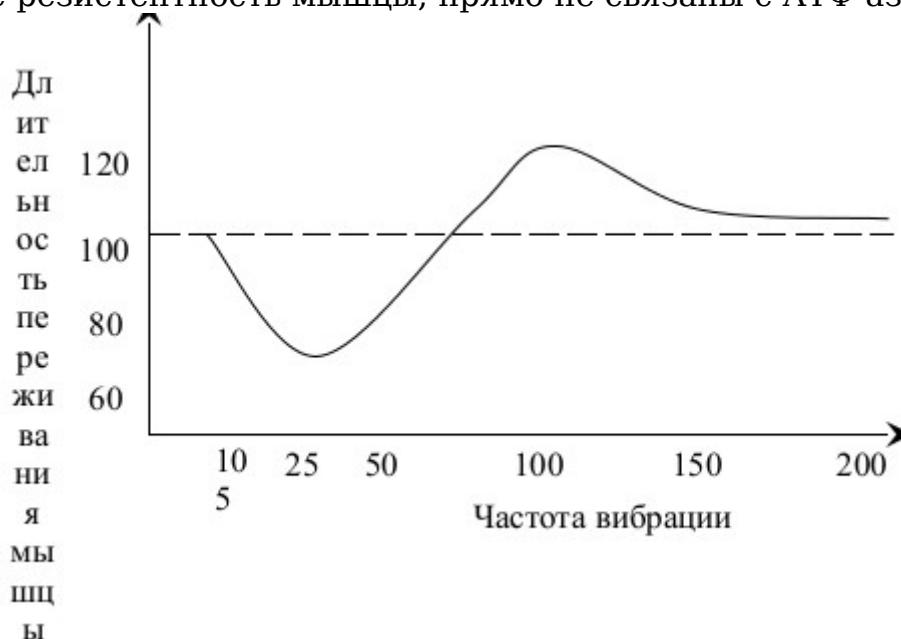
В одних и тех же макромолекулах возникают скрытые поражения нескольких видов: одни - реализуются при воздействии кислорода, другие - на которые кислород не действует. Химическая природа долгоживущих скрытых поражений в макромолекулах до конца еще не известна. Консервацию в белке не спаренных электронов обнаружили при облучении, как сухих препаратов, так и водных растворов.

## 2. Дать оценку изменению резистентности мышц к температуре от величины ускорения при вибрационном воздействии.

Изменение резистентности мышц к повышенной температуре после воздействия вибрации от 10 до 200 Гц при 5g ускорении в течение 30 мин на каждой частоте определялось по времени полной потери возбудимости к электрическому току после 50 минут нахождения в рингеровском растворе нагретом до 44°C. Время полной потери возбудимости служило мерой резистентности мышц к повышенной температуре: чем меньше время переживания после нагрева, тем ниже резистентность. Цель опытов заключалась в том, чтобы выяснить, будет ли предварительная вибрация влиять на резистентность к повышенной температуре. Резистентность мышц к температуре, как и к действию любого повреждающего агента, является фундаментальной биологической характеристикой, интегральным выражением ее физико-химических и биологических свойств.

Частота 25 Гц наиболее опасная, т.к. при этих условиях вибрации мышцы в большей степени теряют способность выдерживать действие повышенной температуры. Эта потеря резистентности составляет в среднем 30%. Вместе с тем обнаружены частоты вибрации, при которых резистентность мышц повышается. На частоте 100 Гц, резистентность повышается на 20%.

Еще одно важное обстоятельство заслуживает внимания. Максимальный эффект вибрации, судя по изучению АТФ-азной активности, наблюдается при частоте 200Гц. Здесь же видим, что наиболее эффективная АМ частота практически никакого эффекта не вызывает, если оценивать результат действия вибрации по резистентности мышц. Этот факт наводит на мысль, что АМ и его ферментативная активность не причастны к устойчивости мышцы, по крайней мере, к высокой температуре, т.е. условия обеспечивающие резистентность мышцы, прямо не связаны с АТФ-азной активностью.



В силу своей физической природы механические колебания имеют дело с конструкцией объекта, на который она действует, отсюда ясно, что к вибрации 25Гц чувствительна одна структура, к 100Гц – другая, 200Гц, как видно из анализа реакции АМ, – третья. Следовательно, появляется столь же реальная возможность избирательно действовать на структуру, ответственную за ту или иную биологическую функцию, или, по крайней мере, связанную с этой функцией. При этом также как и раньше обнаруживается высокая добротность при данном резонансном явлении. Таким образом, имеет место обратимость структурных изменений вызванных вибрацией.

Обратимость нарушения резистентности мышц, вызванных вибрацией 100Гц при 5g, показана на рис.4.18.

Видно, что уже через 60 мин после окончания вибрации явление повышения резистентности уже не обнаруживается.

### 3. Провести анализ взаимодействия клеточной мембраны с миллиметровым излучением.

Сильно взаимодействуя с молекулой воды, мм волны могут существенно изменять ее свойства, как с внешней, так и с внутренней стороны мембраны за счет конвективного движения жидкости. Известно, что многие биохимические (мембранные) процессы чувствительны к перемешиванию среды. Экспериментально показано, что миллиметровые волны низкой интенсивности могут привести к ускорению активного транспорта ионов  $\text{Na}^+$  (пороговое значение мощность соответствует  $\approx \text{мВт/см}^2$ ) изменению проницаемости мембран эритроцитов для ионов  $\text{K}^+$  (при мощности 1-5  $\text{мВт/см}^2$ ), ускорению перекисного окисления липидов в лизосомах ( $\approx 1 \text{ мВт/см}^2$ ), к увеличению ионной проницаемости бислойных липидных мембран ( $\approx 10 \text{ мВт/см}^2$ ). Из серии экспериментов, сделан вывод, что конвекция, снимающая диффузионные ограничения в жидкой среде, а также внутри клетки, является одним из первичных механизмов действия мм волн на процессы жизнедеятельности. С конвекцией может быть связано изменение транспорта ионов и различных веществ, определяющих процессы жизнедеятельности клеток.

### 1. Провести анализ действия ультразвукового излучения на биологические объекты.

При распространении интенсивных ультразвуковых колебаний (интенсивностью более 1...2 Вт/см<sup>2</sup>) в жидкости наблюдается, обусловленный ультразвуковым давлением эффект, называемый ультразвуковой кавитацией. Кавитационные пузырьки совершают пульсирующие колебания, приводящие к активной локальной турбулизации среды. После кратковременного существования часть пузырьков захлопывается. При этом наблюдаются локальные мгновенные давления, достигающие сотен и тысяч атмосфер. При захлопывании кавитационных пузырьков наблюдаются так-же локальные повышения температуры и электрические разряды. Интенсивность, соответствующая порогу кавитации, зависит от рода жидкости, частоты звука, температуры и других факторов. В воде на частоте 20 кГц она составляет около 0,3...1 Вт/см<sup>2</sup>. Выявлено, что в диапазоне частот (5...10)×10<sup>3</sup> Гц отмечаются такие физико-химические явления, как разделение молекул и ионов с различной массой, искажение формы волны, появление переменного электрического поля, капиллярно-акустического и теплового эффекта, активация диффузии. Здесь проявляются сопутствующие эффекты, влияющие на процессы экстракции из лекарственного, растительного и животного сырья, наблюдается усиление процессов гиперфильтрации, проницаемости клеточных мембран, становятся возможными стерилизация термолабильных веществ, фонофорез, получение концентрированных ингаляционных аэрозолей.

Как известно, механическое действие ультразвука приводит к размельчению и диспергированию частиц. Механически работа ультразвука усиливает диффузию растворителей в биологические ткани.

Ультразвук изменяет скорость процессов на границе газ-жидкость. Действие ультразвука повышает растворимость азота в воде на 12%. И в то же время ультразвуковое облучение растворов приводит к их дегазации. Тепловое действие ультразвука происходит вследствие превращения акустической энергии в тепловую в результате поглощения ультразвука. Кроме того, образование тепла обусловлено физическими явлениями, вызывающими так называемый эффект пограничных поверхностей. Сущность его заключается в усилении действия ультразвука на границе разделения двух сред. Особенно это сказывается на тепловом эффекте, который может усиливаться в несколько раз. Биологическое действие ультразвука на клетки и ткани определяется главным образом интенсивностью ультразвука и длительностью облучения и может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на жизнедеятельность организмов [19]. Так, возникающие при сравнительно небольших интенсивностях ультразвука (до 1...2 Вт/см<sup>2</sup>) механические колебания частиц производят своеобразный микромассаж тканей, способствующий лучшему обмену веществ и лучшему снабжению тканей кровью и лимфой. Повышение интенсивности ультразвука может привести к возникновению в биологических средах акустической кавитации, сопровождающейся механическим разрушением клеток и тканей (кавитационными зародышами служат имеющиеся в биологических средах газовые пузырьки). Однако более интенсивные и длительные воздействия могут привести к перегреву биологических структур и их разрушению.

### 2. Сравнить действие низкоинтенсивного физического фактора на живые организмы при различном их функциональном состоянии.

Основной особенностью таких воздействий является то, что квант энергии этих физических факторов нетепловой интенсивности на один - два порядка ниже тепловой энергии молекул  $kT_0$ . Так, для миллиметровых волн (30-300 ГГц) это отношение составляет  $\frac{kT_0}{h\nu} \approx 200 - 20$  раз. Такой энергии достаточно для вращения молекул вокруг

связи и, возможно, изменения конформационных состояний, но не достаточно для разрыва связей в атомно-молекулярных комплексах. Очевидно, что для оказания влияния на характеристики и свойства материи при воздействии столь низкоинтенсивными факторами необходимо, чтобы происходило накопление энергий. Существует несколько гипотез механизма накопления энергии. Так предлагаются модели таких накоплений за счет метаболических процессов на мембране клеток. Однако в последних работах показано, что вода является преобразователем энергии физического фактора в другие виды энергии, оказывающие действие на вещества, находящиеся в воде, не имеющие мембраны и клеточного строения.

- биологические эффекты физических факторов низкой интенсивности определяются продуктами разложения воды и их реакциями, аналогичными получаемым при радиолизе, то есть  $e^-$ ,  $H_2$  и  $OH\cdot$ , концентрация которых значительно меньше, чем при радиолизе;
- биологический эффект имеет пороговый характер и выходит на насыщение при увеличении интенсивности внешнего физического фактора и определяется произведением двух механизмов: увеличение частоты возникновения импульсов, то есть образование продуктов разложения воды, и уменьшение количества этих продуктов в каждом импульсе с увеличением интенсивности воздействия.
- эффект воздействия физического фактора, в том числе и биологический эффект, увеличивается: с увеличением площади (поверхности раздела фаз) водного раствора; при наличии ионных примесей, упрочняющих структуру водных кластеров; при наличии газовых примесей, увеличивающих эффективную поверхность раздела фаз.

### **3. Обосновать применение лазеров в медицине.**

Цикличность многих процессов у растений и животных управляется светом. Под влиянием УФ части спектра у животных происходит синтез витамина Д. Короткие УФ лучи способны убивать бактерии, повреждать поверхностные слои клеток роговицы, приводя к временному ослеплению, вызывать появление мутаций.

Энергия лазерного излучения, поглощенная биообъектом, преобразуется в тепловую, энергию фотохимических процессов, излучение другой длины волны (т. е. флюоресценцию) или энергию электронных переходов, что, в конечном счете, может приводить к повреждению облученной ткани.

Термический эффект является важнейшим фактором взаимодействия лазерного излучения с тканью. Поэтому поражение обычно сходно с ожогом, особенно возникающим под влиянием токов высокой частоты.

В связи с образованием ультразвуковых волн в биообъекте возможно возникновение в нем кавитации, представляющей собой образования микрополостей, сопровождающееся очень высоким давлением (до  $10^6$  атм.). Повреждения, вызванные в ткани упругой волной, могут быть удалены от точки облучения на значительное расстояние.

## 1. Провести анализ действия низкочастотного электрического поля на биологические объекты.

В тканях живых организмов, находящихся в электрическом поле, индуцируются электрические заряды на поверхностях раздела с различными электрическими параметрами, а также происходит поляризация связанных зарядов. В электростатическом поле большинство тканей можно рассматривать как проводящие среды, а тело человека или животного в первом приближении считать намоченным проводником. При этом допущении можно оценить распределение зарядов, индуцированных на поверхности тела, исходя из формул, выведенных для проводящих тел простых геометрических форм, находящихся в электрическом поле. Тело человека можно рассматривать как проводящий гомогенный эллипсоид. Если такой эллипсоид находится в однородном электрическом поле напряженностью  $E$ , причем его большая ось параллельна линиям поля, то плотность индуцируемого поверхностного заряда определяется из соотношения:  $q_{нов} = \frac{E}{4\pi n} \cos \Theta$ , где  $n$  - коэффициент зависящий только от формы эллипсоида, а  $\Theta$  - угол между направлением на рассматриваемую точку поверхности и направлением поля. В этом случае распределение поверхностных зарядов таково, что эллипсоид приобретает дипольный момент  $p$  (вдоль большой оси) равны  $p = \frac{abc}{3n} E$ , где  $a, b, c$  - полуоси эллипса.

Теоретически рассмотрена возможность взаимодействия электростатического поля с макромолекулами тканей. Электрическое поле вызывает поляризацию макромолекул в растворе, обусловленную как наличием постоянного дипольного момента у молекул, так изменением расположения протонов в молекуле. Такое действие может влиять на относительную стабильность двух возможных конфигураций макромолекул. На основе этих соображений Хилл делает вывод, что под действием полей напряженностью порядка  $10^4 \text{ В/см}$  может произойти разделение цепей ДНК (переход от спаренного состояния к неспаренному), а это может послужить пусковым механизмом для разделения хромосом в клеточном ядре, предшествующего делению клетки. Другая возможность - влияние поля на состояние белковых цепей в мышечных волокнах (переход от длинной цепи к короткой), что может служить пусковым механизмом для мышечных сокращений.

## 2. Сравнить действие вибрационных нагрузок различной интенсивности на клетку.

То, что эффективность биологического действия определяется не абсолютной, а сменой интенсивности раздражения подтверждается тем, что переменное давление (звуковое) равное  $0,02 \text{ дан/см}^2$ , вызывает денатурацию белка, тогда как постоянное давление, равное  $7500 \text{ кГ/см}^2$  значимых признаков денатурации еще не вызывает. АМ теряет ферментативную активность при предельном давлении в несколько  $\text{дин/см}^2$ , тогда как постоянное давление даже  $4000 \text{ кГ/см}^2$  подобного явления не вызывает.

Представим себе теперь действие ускорения. Механическая волна вибрации, проходя через структуру живого объекта, в какой-то степени деформируется. Степень деформации зависит при прочих равных условиях, от амплитуды (силы) колебаний. Эта амплитуда пропорциональна ускорению - чем выше ускорение, тем при постоянной частоте больше амплитуда.

Вибрация вызывает изменение структуры объекта, если амплитуда превышает определенную величину. Следовательно эффективное действие вибрации начинается тогда, когда амплитуда колебаний достигает некоторой критической величины  $A + \Delta A$  (см. рис.4.16). Добавок амплитуды  $\Delta A$  является биологически эффективным участком биологически эффективного участка амплитуды  $\Delta A$  требуется определенный минимум времени.

Возможны три случая:



I – когда ускорение небольшое и амплитуда не достигает критической величины. Повреждающий эффект вибрации отсутствует.

II – при очень больших ускорениях (10-15g), амплитуда вибрации намного превышает критическую, но при этом значительно увеличивается виброскорость. Биологически эффективный участок амплитуды  $\Delta A$  вибрационная волна проходит за ничтожно малые времена. Биологический эффект (из-за времени) вибрации будет отсутствовать (реакция не успевает возникнуть).

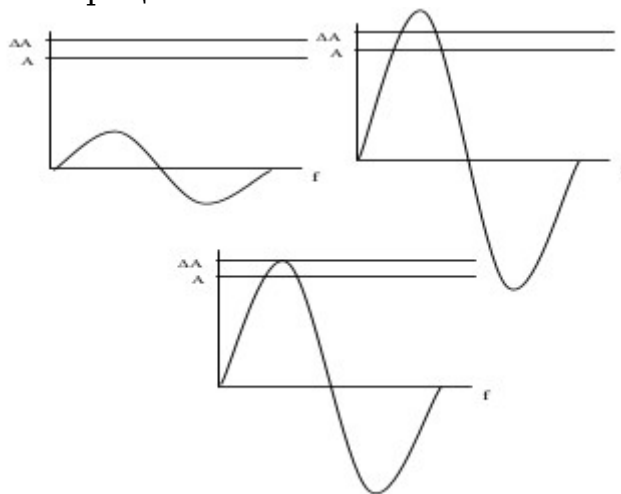
III – максимальный эффект наблюдается в сравнительно узкой области ускорений при определенной частоте вибрации..

Для возникновения биологической реакции при достижении биологически эффективного участка амплитуды  $\Delta A$  требуется определенный минимум времени. Возможны три случая:

I – когда ускорение небольшое и амплитуда не достигает критической величины. Повреждающий эффект вибрации отсутствует.

II – при очень больших ускорениях (10-15g), амплитуда вибрации намного превышает критическую, но при этом значительно увеличивается виброскорость. Биологически эффективный участок амплитуды  $\Delta A$  вибрационная волна проходит за ничтожно малые времена. Биологический эффект (из-за времени) вибрации будет отсутствовать (реакция не успевает возникнуть).

III – максимальный эффект наблюдается в сравнительно узкой области ускорений при определенной частоте вибрации.



### 3. Обосновать применение рентгеновских лучей в медицине.

Линейный характер связи частоты возникновения некоторых видов мутаций с дозой облучения заставлял предполагать независимость этого процесса от мощности дозы. Многочисленные исследования, проведенные на дрозофиле, у которой изучалась частота возникновения мутаций в облученных сперматозоидах, подтвердили правильность такого предположения. В специальных экспериментах, где время, в течение которого осуществлялось  $\gamma$  - или рентгеновское облучение, при одной и той же дозе изменялось в десятки и сотни тысяч раз, было показано, что мутагенный эффект радиации оказывался одинаковым. Не изменялась мутагенная эффективность и при фракционированном облучении. Частота возникновения мутаций в сериях, где имело место прерывистое облучение, сказывалась равной той, которая наблюдалась в сериях, где воздействие осуществлялось непрерывно, и была пропорциональна суммарной дозе радиации. Таким образом, в тех случаях, когда процесс возникновения мутаций идет по одноударной схеме, фактор времени, как и нужно ожидать, является несущественным.

Иная ситуация оказалась при изучении влияния мощности дозы облучения на мутационный процесс, когда объектом исследования явились не сперматозоиды, а клетки, находящиеся на более ранних стадиях сперматогенеза. В этих случаях уменьшение мощности дозы сопровождалось снижением мутагенной эффективности радиации.

Остановимся на роли фактора времени при возникновении хромосомных



аббераций, для которых необходимо два или большее число независимых разрывов хромосом. Уменьшение мощности дозы ниже определенной величины приводит к снижению мутагенного эффекта радиации. Механизм такого снижения, скорей всего сводится к следующему: после разрыва хромосомы жизнь образовавшихся фрагментов в свободном состоянии ограничена определенным временем, по истечению которого фрагменты, как правило, воссоединяются в старой последовательности. При малой мощности дозы вероятность воссоединения поломок до возникновения разрыва другой хромосомы в той же клетке сильно возрастает. Если эта мощность настолько мала, что время осуществления второй поломки значительно превышает время жизни образовавшихся свободных фрагментов, то транслокации, инверсии и некоторые другие абберации практически не могут возникнуть. На рис.3.23 показано влияние мощности дозы рентгеновского облучения на выход хромосомных обменов у традесканции: 1- 160р/мин; 2 - 20р/мин; 3 - 2,7р/мин.

**1. Провести анализ совместного одновременного действия нескольких физических факторов на биологические объекты.**

В природно-техногенной среде редко встречается изолированное действие вредных факторов, обычно человек подвергается совокупному их воздействию. При этом различают сочетанное, комбинированное и комплексное воздействия.

Сочетанное действие – действие неблагоприятных факторов разной природы (физических, химических, биологических).

Комбинированное действие – это одновременное или последовательное действие на организм нескольких токсикантов одной природы, чаще всего химических веществ, при одном и том же пути поступления.

Комплексное воздействие – влияние ядов, поступающих в организм одновременно, но разными путями.

Различают несколько типов комбинированного и сочетанного действия в зависимости от эффектов токсичности:

Аддитивное действие – это суммарный эффект смеси, равный сумме эффектов действующих компонентов. Аддитивность характерна для веществ направленного действия, когда компоненты смеси оказывают влияние на одни и те же системы организма, причем при количественно одинаковой замене компонентов друг другом токсичность смеси не меняется.

Потенцированное действие (синергизм) – компоненты смеси действуют так, что одно вещество усиливает действие другого. Эффект комбинированного действия при синергизме больше аддитивного. Потенцирование отмечается при совместном действии диоксида серы и хлора; алкоголь повышает опасность отравления ртутью и некоторыми другими промышленными ядами. Тяжелый физический труд сопровождается повышенной вентиляцией легких и усилением скорости кровотока, что приводит к увеличению количества яда, поступающего в организм. Токсичность ядов в определенном температурном диапазоне является наименьшей, усиливаясь как при повышении, так и при понижении температуры. Главной причиной этого является изменение функционального состояния организма: нарушение терморегуляции, потеря воды при усиленном потоотделении, изменение обмена веществ и ускорение биохимических процессов. Учащение дыхания и усиление кровообращения приводят к увеличению поступления яда в организм через органы дыхания. Расширение сосудов кожи и слизистых повышает скорость всасывания токсических веществ через кожу и дыхательные пути. Усиление токсического действия при повышенных температурах отмечено в отношении многих летучих ядов: паров бензина, паров ртути, оксидов азота. Низкие температуры повышают токсичность бензола, сероуглерода и др.

Антагонистическое действие – компоненты смеси действуют так, что одно вещество ослабляет действие другого. Эффект комбинированного действия меньше аддитивного.

**2. Оценить роль кавитации при воздействии ультразвука на биологические среды.**

В связи с образованием ультразвуковых волн в биообъекте возможно возникновение в нем кавитации, представляющей собой образования микрополостей, сопровождающееся очень высоким давлением (до  $10^6$  атм.). Повреждения, вызванные в ткани упругой волной, могут быть удалены от точки облучения на значительное расстояние. Энергия микроруча импульсного рубинового лазера в 8 МДж при абсорбции ее участка ткани диаметром в 20 мк способна генерировать ударную волну, достаточную, для того чтобы убить клетку на расстоянии около 100 мк.

Возникновение упругой волны в области повышенного давления в замкнутом пространстве (глаза, череп, грудная клетка, мочевого пузыря) способно приводить к

значительным повреждениям, более глубоким, чем в случае развития этих явлений на структурах, не имеющих жестких границ. Тепловое объемное расширение тканей внутри замкнутого пространства, особенно с образованием пара, не имеющего выхода, может приводить к кратковременному чрезвычайно высокому увеличению давления.

### 3. Дать оценку времени восстановления клетки от вибрационной нагрузки.

Низкочастотная вибрация способна вызвать нарушение биологической структуры, которая является «рецептором» механической энергии. Энергия механической волны, действуя на структуру объекта, нарушает ее или даже разрушает. Это хорошо известно в макромире. Но для микрообъектов этот факт кажется маловероятным. Для нарушения структуры отдельной макромолекулы требуется накопление энергии до такого уровня, чтобы эти нарушения могли возникнуть.

Белок способен к восстановлению нарушенной структуры в течение 2-3 часов после вибрационной нагрузки.

### 1. Провести анализ эффекта «разведения» при косвенном действии радиации

Прежде всего, оказалось, что число пораженных макромолекул, облучаемых в растворе, зависит лишь от дозы облучения, но не зависит от концентрации самих молекул. Для ряда ферментов ионный выход инактивации в широком диапазоне концентраций постоянен (рис.3.9).

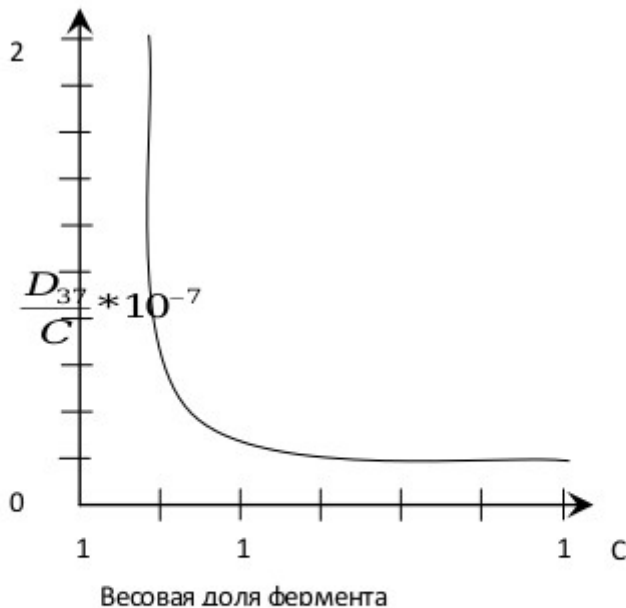


Рис. 3.9. Зависимость инактивирующей дозы  $D_{37}$  от концентрации

В области «эффекта разведения»  $D_{37}/C = \text{const}$

эта особенность инактивации макромолекул в водных растворах объясняется тем, что все радикалы, возникающие при радиоллизе воды, «разбираются» белковыми молекулами, и поэтому естественно, что независимо от общей концентрации белка число пораженных ею молекул при данной дозе облучения всегда постоянно. Лишь при очень малой концентрации белки-радикалы, не успев столкнуться с белковыми молекулами, рекомбинируют друг с другом, уменьшая ионный выход. При очень больших концентрациях белка ионный выход начинает возрастать за счет вклада прямого действия, при котором число инактивированных молекул должно расти пропорц. Концентрации.

### 2. Сравнить устойчивость биологических растворов к вибрации от концентрации в них белка.

Низкочастотная вибрация способна вызвать нарушение биологической структуры, которая является «рецептором» механической энергии. Для нарушения структуры отдельной макромолекулы требуется накопление энергии до такого уровня, чтобы эти нарушения могли возникнуть.

Следовательно, решение вопроса о физической возможности действия вибрации на молекулярную структуру АМ (актомиозин АМ является более низкой ступенью организации биоструктуры, чем клетка и вместе с тем из всех белковых комплексов он стоит ближе всех к клеточному уровню организации) следует искать в каких-то структурно-биологических особенностях этого молекулярного комплекса белка.

Актомиозин представляет собой комплекс, состоящий в основном из двух различных по своим физическим свойствам белков: актина и миозина. Актин – глобулярный белок, его молекула состоит из одной полипептидной цепочки и содержит 450 аминокислотных остатков. При определенных условиях спонтанно либо под влиянием некоторых незначительных по интенсивности воздействий актин поляризуется, переходит из глобулярной формы (Г - актина) в фибриллярную (Ф - актина). Вероятно, это единственный белок, обладающий такой особенностью переходить из одной формы в другую. Нити Г - актина соединяются между собой, увеличивают занимаемое ими пространство, что создает условие для гелеобразования.

Миозин является основным белком скелетных мышц позвоночника. Как и актин, миозин обладает высокой способностью к агрегации и комплексообразованию с другими белками. Молекула белка, будучи в растворе, образует не только молекулярный комплекс, но, как и любой высокомолекулярный полимер, комплекс белка с растворителем. Создается единая система дисперсной среды и дисперсной фазы.

Образование такой системы зависит от концентрации полимера.

При низких и высоких концентрациях белковых растворов эффект вибрации отсутствует. При низких концентрациях молекула белка находится в дискретном состоянии и чтобы вызвать, конформационные сдвиги отдельных молекул механическими факторами требуется очень большая энергия. При больших концентрациях связи в комплексе могут быть более устойчивыми, и тоже требуется большая энергия для воздействия.

Чувствительность белкового комплекса к механическим колебаниям тем выше, чем большую деформацию вызывает вибрация с одними и теми же параметрами.

### 3. Обосновать применение ультрафиолетового излучения в медицине

Уже давно установлено, что УФ воздействие ( $2537\text{\AA}$ ), проводимое до и после рентгеновского облучения пылицы традесканции, снижает эффективность последнего. Величина защитного действия зависила от дозы УФ излучения и времени его использования. Эти данные были подтверждены на дрозофиле, кукурузе и др. Наряду с этим в ряде экспериментов было показано, что при определенных условиях УФ излучение не только не оказывает защитного действия, но и несколько усиливало мутагенный эффект ионизирующих излучений. Особенно ярко это проявилось при исследовании частоты возникновения хроматидных aberrаций в высушенной пылице традесканции, где было установлено резко сипоргидное действие УФ и рентгеновского излучения. Доза рентгеновских лучей в 1 рад, комбинированные с УФ – воздействием равным  $104\text{ эрг/см}$ , дает количество aberrаций, эквивалентное рентгеновскому облучению в дозе 100 рад. Каждое излучение в названных дозах практически не обладает мутагенным действием.





### 1. Провести анализ защитного эффекта некоторых химических веществ при действии радиации.

Было обнаружено, что в условиях прямого действия радиации, на величине поражения сказывается влияние различных примесей. В опытах с облучением ферментов в сухом виде инактивирующая доза зависела от того, в присутствии каких веществ осаждался и высушивался белок перед облучением. Некоторые вещества оказывали защитное действие, другие (например, ацетат) - усиливали поражение. Помимо химических примесей, модифицирующих лучевое поражение сухих объектов, большое влияние на радиочувствительность оказывают и малые количества воды. Здесь речь идет не о поражающем действии свободных радикалов, образующихся при радиоллизе воды и обуславливающих косвенное действие радиации. Было обнаружено, что вода влияет на степень поражения и иными путями. Так, при облучении дезоксирибонуклеазы, содержащей воду лишь в соотношении 1:1, радиочувствительность уменьшилась почти вдвое.

Аналогично этому, радиочувствительность семян, бактерий и других объектов при облучении сильно зависела от степени их влажности. Увеличение содержания воды от 4 до 12-16 % давало резкий защитный эффект, поражающее же действие сказывалось лишь при значительно больших увлажнениях.

### 2. Сравнить устойчивость белковых растворов к вибрационным нагрузкам от времени воздействия нагрузки.

Низкочастотная вибрация способна вызвать нарушение биологической структуры, которая является «рецептором» механической энергии. Энергия механической волны, действуя на структуру объекта, нарушает ее или даже разрушает. Это хорошо известно в макром мире. Но для микрообъектов этот факт кажется маловероятным. Для нарушения структуры отдельной макромолекулы требуется накопление энергии до такого уровня, чтобы эти нарушения могли возникнуть. Надо, чтобы первая волна обладала энергетической возможностью вызвать какие-то изменения геометрии структуры и чтобы эффект от последующих волн суммировался. Но это маловероятно по двум причинам:

- период релаксации молекул АМ на 5-6 порядков меньше, чем период вибрации;
- при частоте 200 Гц длина звуковой волны при распространении ее в воде 1400 м/сек равна :

$$\lambda = \frac{c}{f} \approx 7 \text{ м}$$

Следовательно, при размере молекулы  $AM \approx 2000 \text{ нм}$  длина волны будет превышать эту  $f$  величину на 10-11 порядков и возможность механического действия такой волны на структуру белковой молекулы исключено. Следовательно, решение вопроса о физической возможности действия вибрации на молекулярную структуру АМ следует искать в каких-то структурно-биологических особенностях этого молекулярного комплекса белка.

### 3. Обосновать применение токов Фуко в медицине.

Вихревые токи (токи Фуко) — «замкнутые электрические токи в массивном проводнике, которые возникают при изменении пронизывающего его магнитного потока», поэтому вихревые токи являются индукционными токами. Чем быстрее изменяется магнитный поток, тем сильнее вихревые токи. Вихревые токи не текут по определенным путям в проводах, а замыкаясь в проводнике образуют вихреобразные контуры.

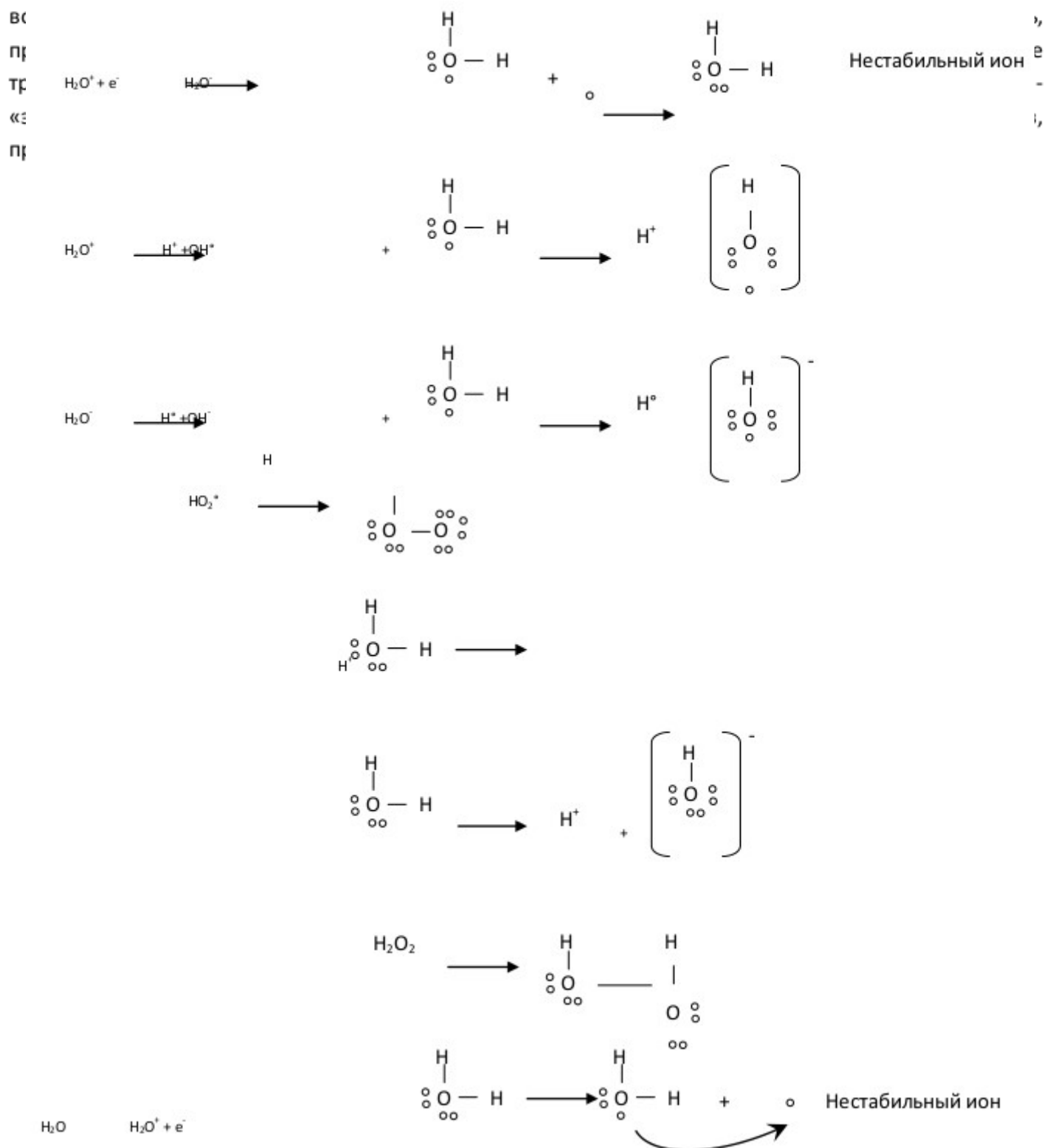
Существование вихревых токов приводит к скин-эффекту, то есть к тому, что переменный электрический ток и магнитный поток распространяются в основном в поверхностном слое проводника. Нагрев вихревыми токами проводников приводит к потерям энергии, особенно в сердечниках катушек переменного тока.

Магнитное поле образуется при прохождении по проводнику индуктора (представляющего собой плоскую, коническую, цилиндрическую спираль или петлю) переменного тока указанной частоты, подключаемого к аппаратам для индуктотермии

Подводимое к пациенту магнитное поле по закону электромагнитной индукции возбуждает в хорошо проводящих электрический ток тканях, внутренних органах и жидких средах организма вихревые токи высокой частоты, или токи Фуко, вызывающие образование тепла.

## 1) Провести анализ процесса радиолитического разложения воды при воздействии ионизирующих излучений.

«Косвенное» действие ионизирующих излучений связано с появлением активных радикалов, образующихся при радиолитическом разложении воды («активированная вода»). В соответствии с этой теорией поражение макромолекул в растворе и структур живых клеток осуществляется радикалами  $\text{H}^\bullet$ ,  $\text{OH}^\bullet$  и  $\text{HO}_2^\bullet$ , а также перекисью водорода, образующимся в результате ионизации молекул воды и последующих радиационно-химических превращений. Обычно принимается, что вслед за ионизацией ( $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^+ + e^-$ ) происходит захват электрона другой молекулой воды ( $\text{H}_2\text{O} + e^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}^-$ ), а образующиеся нестабильные ионы диссоциируют с образованием свободных радикалов ( $\text{H}_2\text{O}^+ \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^\bullet$ ,  $\text{H}_2\text{O}^- \rightarrow \text{OH}^- + \text{H}^\bullet$ ). Ионы  $\text{H}^\bullet$  и  $\text{OH}^\bullet$  обладают высокой реакционной способностью и воздействуют на макромолекулы и биологические структуры. С этим взаимодействием конкурирует процесс рекомбинации радикалов ( $\text{H}^\bullet + \text{H}^\bullet \rightarrow \text{H}_2$ ;  $\text{OH}^\bullet + \text{OH}^\bullet \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$ ), а так же захвата атомарного



Было обнаружено, что в условиях прямого действия радиации, на величине поражения сказывается влияние различных примесей. В опытах с облучением ферментов в сухом виде инактивирующая доза зависела от того, в присутствии каких веществ осаждался и высушивался белок перед облучением. Некоторые вещества оказывали защитное действие, другие (например, ацетат) - усиливали поражение. Помимо химических примесей, модифицирующих лучевое поражение сухих объектов, большое влияние на радиочувствительность оказывают и малые количества воды. Здесь речь идет не о поражающем действии свободных радикалов, образующихся при радиолизе воды и обуславливающих косвенное действие радиации. Было обнаружено, что вода влияет на степень поражения и иными путями. Так, при облучении дезоксирибонуклеазы, содержащей воду лишь в соотношении 1:1, радиочувствительность уменьшилась почти вдвое.

Аналогично этому, радиочувствительность семян, бактерий и других объектов при облучении сильно зависела от степени их влажности. Увеличение содержания воды от 4 до 12-16 % давало резкий защитный эффект, поражающее же действие сказывалось лишь при значительно больших увлажнениях (рис.3.13).

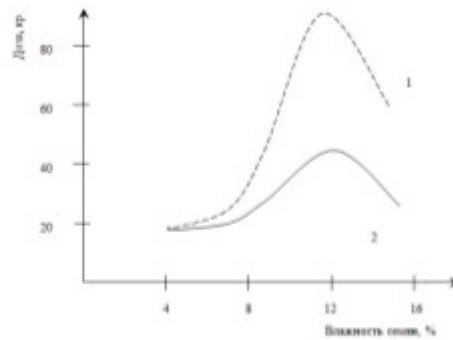


Рис. 3.13. Зависимость радиочувствительности семян от их влажности и облучения  
1 – в отсутствие  $O_2$   
2 – в присутствии  $O_2$   
По оси ординат дозы, под влиянием которых рост растений уменьшился в 2 раза

## 2) Дать оценку воздействия звука на биологические объекты.

Диапазон инфранизких частот, который в последнее время привлекает внимание специалистов различных направлений, в том числе врачей, биологов и конструкторов технических, особенно транспортных средств. Интерес к этим частотам вызван рядом факторов: для медицины – негативным влиянием низкочастотных вибраций, возникающих в автодорожном транспорте, в машинах и сооружениях, вызывающих у человека утомление и нарушение некоторых функций вплоть до патологических состояний, для конструкторов – необходимостью разработки средств виброзащиты человека.

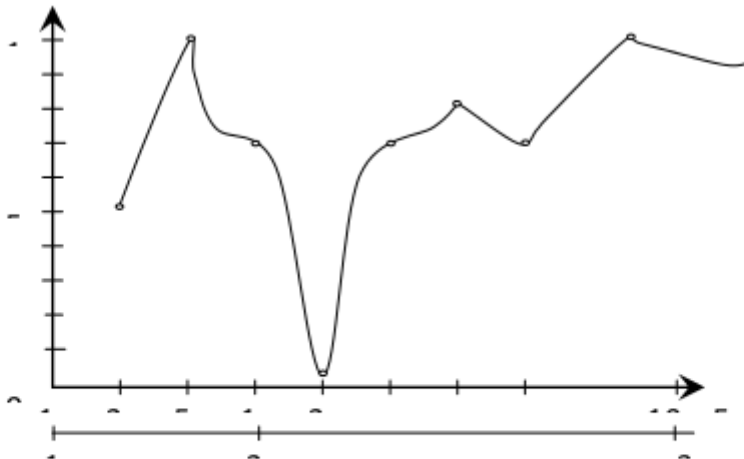
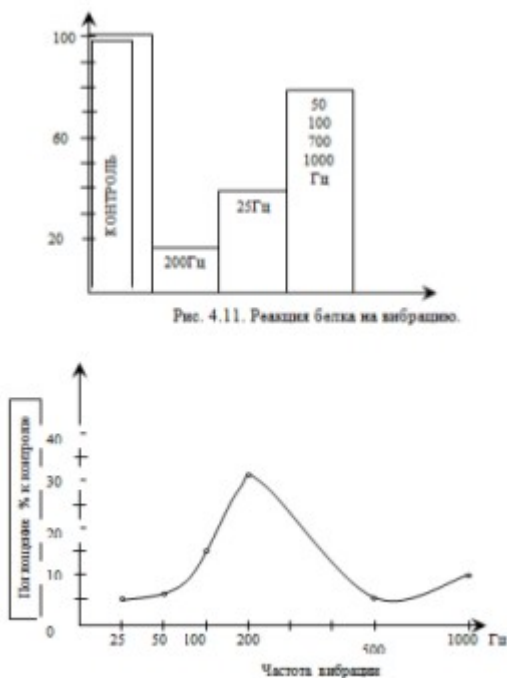


Рис. 4.10. Изменение АТФ-азной активности актомиозина в зависимости от частоты. Продолжительность вибрации 30 мин. при постоянном ускорении 5g.



Выяснение биологического действия вибрации логически состоит из двух задач: изучение механизма действия вибрации волн и механизма ее восприятия объектом. (Исключая рецепторные клетки). В качестве объекта исследования выбрали актомиозин (АМ). АМ является более низкой ступенью организации биоструктуры, чем клетка и вместе с тем из всех белковых комплексов он стоит ближе всех к клеточному уровню организации, кроме ферментативной осуществляет еще одну из фундаментальных функций живой материи – механическое движение; кроме того, АМ выполняет пластическую функцию. Основной характеристикой данного белкового комплекса, которая определяет его биологическую сущность, является фундаментальная функция, необходимая для генерации энергии. Поэтому оценку реакции АМ на действие вибрации следует проводить по изменению ферментативной, или, точнее говоря АТФ-азной активности, обеспечивающей систему необходимой энергией.

АТФ-аза – это АМ скелетных мышц, ферментативная активность которого оценивалась по количеству неорганического фосфора (Рн) в пробе, образовавшегося в результате гидролиза АТФ актомиозином.

Экспериментально установлено, что структура актомиозина по своей природе чувствительна к механическим колебаниям и обнаруживает избирательную чувствительность к определенным частотам вибрации. Наиболее эффективной является частота 200 Гц, при которой актомиозин теряет 90% своей АТФ-азной активности.

### 3) Постоянный ток в медицине

#### МОТИВАЦИЯ

Электрический ток постоянного направления (гальванизация, электрофорез) применяют при самых разных заболеваниях. На долю гальванизации приходится до 20% всех физиотерапевтических процедур.

#### ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ

Научиться использовать методики гальванизации и электрофореза для лечения заболеваний.

#### ЦЕЛЕВЫЕ ВИДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Понимать сущность биофизических изменений при прохождении постоянного тока через организм.

Уметь:

- определять показания и противопоказания к применению гальванизации и лечебного электрофореза;
- выбирать адекватный метод лечебного воздействия;
- самостоятельно назначать процедуры;
- оценивать действие электрического тока на организм больного.

Изучить принципы работы аппарата для гальванизации и лекарственного электрофореза «Поток-1».

#### Блок информации

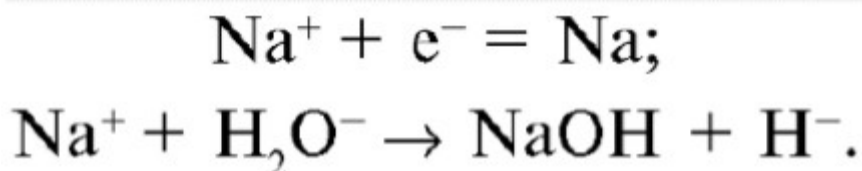
#### ГАЛЬВАНИЗАЦИЯ

Гальванизация - применение постоянного непрерывного электрического тока низкого напряжения (30-80 В) и небольшой силы (до 50 мА), подводимого к телу больного через контактно наложенные электроды, с лечебной целью. Под действием постоянного тока в тканях организма протекают следующие физикохимические процессы.

Перемещаются заряженные частицы, в основном ионы тканевых электролитов: положительно заряженные ионы движутся к катоду, отрицательно заряженные - к

аноду. В результате обычная концентрация ионов изменяется. В коже и скелетной мышце под катодом увеличивается содержание калия и натрия, при этом содержание ионов хлора снижается. В коже и мышцах под анодом уменьшается количество катионов и увеличивается содержание анионов хлора. В клетках изменяется протекание биофизических, электрохимических и биохимических процессов. Вследствие изменяющегося состава и концентрации катионов уменьшается возбудимость тканей под анодом и возрастает их возбудимость под катодом.

В результате перемещения ионов водорода  $H^+$  к катоду и гидроксильных ионов  $OH^-$  к аноду изменяется кислотно-основное состояние под электродами. Непосредственно под электродами образуются химические вещества: водород и щёлочь - на катоде, кислота и кислород - на аноде. Например, на отрицательном электроде идут следующие реакции:



Эти химические процедуры оказывают прижигающее и раздражающее действие на кожу и могут вызвать ожог тела, поэтому при проведении гальванизации под электроды необходимо помещать марлевые прокладки толщиной около 1 см, смоченные водой.

При пропускании постоянного тока через живые ткани сразу же после наложения разности потенциалов сила тока начинает непрерывно падать и устанавливается на низком уровне. Это явление обусловлено поляризацией, суть которой заключается в следующем. Различного рода полупроницаемые мембраны, содержащиеся в тканях, имеют большое удельное сопротивление, и при прохождении постоянного тока по обе стороны этих мембран накапливаются противоположно заряженные ионы. Между такими скоплениями ионов возникает внутритканевый поляризационный ток обратного направления, создающий дополнительное сопротивление действующему току. Кроме того, на такие участки внутри тканей ток действует наиболее активно.

Проникновение гальванического тока в ткани человека и животных зависит от их электропроводности. Кожа (особенно её роговой слой), сухожилия, фасции и кости обладают низкой электропроводностью, вследствие чего постоянный электрический ток в эти ткани не проникает. Жидкости (кровь, моча, лимфа, межклеточная жидкость, слюна, слеза, пот, жёлчь), а также интенсивно кровоснабжаемые ткани (мышцы, печень, селезёнка, почки, язык) обладают высокой электропроводностью, поэтому ток проходит именно по этим средам и тканям. В ткани с хорошей электропроводностью постоянный ток проникает преимущественно через протоки потовых и сальных желёз. Под влиянием местных процессов, вызванных гальванизацией, и процессов, опосредованных нервной системой, применение соответствующих методик:

- стимулирует регулируемую функцию нервной системы;
- изменяет возбудимость нервов и мышц;
- уменьшает болевую и тактильную чувствительность;
- активирует функции симпатико-адреналовой и холинергической системы;
- изменяет функции эндокринных желёз;
- увеличивает количество капилляров;
- расширяет артериолы, увеличивает в них скорость кровотока;
- повышает проницаемость сосудистой стенки;
- усиливает лимфообращение;
- улучшает процессы резорбции, благодаря чему улучшается перенос питательных веществ из крови в ткани;
- увеличивает число митозов;
- улучшает восстановительные процессы, обмен веществ, что способствует регенерации тканей, особенно нервного волокна;
- нормализует секреторную и моторную функции желудка и кишечника.

У пожилых пациентов, страдающих коронарным атеросклерозом, улучшаются общая гемодинамика и внутрипечёночный кровоток, повышается защитная функция кожи, в



некоторых случаях изменяется белковый состав крови. В момент замыкания и размыкания тока возникает двигательная реакция мышц, что используют для их электростимуляции.

В зависимости от особенностей клинического течения заболевания и состояния пациента применяют местные, сегментарные и общие методики гальванизации. Местные изменения касаются преимущественно кожи и в меньшей степени - органов интерполярной зоны. Развивается гиперемия (более выраженная в области катода), способствующая улучшению обмена веществ и усилению репаративных процессов. Местные реакции выражаются в ощущении покалывания и жжения под электродами, в раздражении чувствительных нервных окончаний. Стимулируются трофическая функция нервной системы, обмен веществ, работа эндокринной и сердечно-сосудистой системы.

Клинические эффекты применения гальванического тока проявляются в:

- противовоспалительном, болеутоляющем, седативном (особенно анода), спазмолитическом действии;
- стимуляции деятельности желёз внутренней секреции и процессов регенерации;
- рассасывающем действии;
- усилении секреторной и моторной функции желудочнокишечного тракта (ЖКТ);
- бронхолитическом, гипотензивном действии;
- повышении активности гуморальных факторов неспецифического иммунитета.

Показания к назначению гальванизации:

- заболевания периферической нервной системы инфекционного, травматического или профессионального происхождения;
- отдалённые последствия травматических поражений головного и спинного мозга и мозговых оболочек;
- функциональные заболевания центральной нервной системы (ЦНС) с вегетативными расстройствами и нарушением сна;
- гипертоническая и гипотоническая болезнь I и IIА стадии;
- атеросклероз в ранних стадиях;
- вазомоторные и трофические расстройства;
- заболевания суставов инфекционного, травматического и обменного происхождения;
- переломы костей и остеомиелит;
- функциональные нарушения со стороны органов системы пищеварения;
- заболевания глаз, кожи, органов уха, горла и носа;
- хронические заболевания органов половой системы и др.

Основные противопоказания:

- общие противопоказания к физиотерапии;
- острые гнойные воспалительные процессы;
- обширные заболевания кожи;
- расстройства кожной чувствительности;
- индивидуальная непереносимость электрического тока;
- повреждения кожного покрова в области наложения электродов.

**1. Доказать, что производство тепла теплокровными животными зависит от их размера.**

Центральная величина, характеризующая неравновесное, но стационарное состояние открытой системы, представляет собой скорость возникновения энтропии  $ds/dt$  или величину, выделяющегося из системы тепла  $T \cdot ds/dt$ , где  $T$  - температура. Система продуцирует тепло в результате превращения энергии через посредство рабочих процессов. Величина выделяющегося из открытой системы тепла:

$$\frac{dQ}{dt} = T \times \frac{dS}{dt} = \sum_{i=1}^n X_i \frac{dX_i}{dt} \quad (1) \quad dX_i - \text{сумма всех рабочих процессов совершающихся в } dt \text{ открытой системе и обуславливающих термодинамически неравновесного состояния.}$$

Между термодинамической скоростью стационарности ее  $dX_i/dt$  и термодинамической силой  $X_i$  существует линейная зависимость, если открытая система находится вблизи от устойчиво-стационарного состояния  $dX_i/dt = L X_i$ . Живой организм представляет собой термодинамически открытую систему, которая непрерывно превращает потенциальную, химическую энергию пищи в энергию рабочих процессов и непрерывно выделяет такое же количество энергии в виде тепловых потоков во внешнюю среду. Обозначим мощность всех рабочих процессов в живой системе

$$\frac{dA_i}{dt} = \sum X_i \frac{dX_i}{dt}, \quad (2) \quad \text{где } A_i - \text{обобщение энергии всех рабочих процессов. Выражаем } T \cdot ds/dt \text{ через тепловой поток согласно закону Фурье } q \sim \text{grad} T, \text{ где } q - \text{вектор теплового потока и grad} T - \text{градиент температур.}$$

$$T \frac{dS}{dt} = kF(T' - T), \quad (3) \quad \text{где: } k - \text{средний коэффициент теплопроводимости организма; } F - \text{поверхность раздела между организмом и окружающей средой; } T' - \text{температура организма; } T - \text{температура окружающей среды. Из 1, 2 и 3 получим:}$$

$$kF(T' - T) = \frac{dA_i}{dt} \quad (4) \quad \text{В стационарных условиях существования организм потребляет постоянное количество энергии пищевых веществ для обеспечения своих рабочих процессов, т. е. } dA_i/dt = \text{const}$$

$$\text{Тогда } \frac{d}{dt} \left( \frac{dA_i}{dt} \right) = 0, \text{ и } \frac{d}{dt} [kF(T - T')] = 0, \text{ и } \frac{d}{dt} \left( T \times \frac{dS}{dt} \right) = 0 \quad \text{Мы приходим к заключению, что живой организм, находящийся в условиях стационарного состояния, представляет собой открытую систему, которая не}$$

отличается от термодинамически открытой неживой системы. Такие условия имеются у взрослого организма, не меняющего больше свою массу и находящегося в окружающей среде с постоянными параметрами. В течении фазы роста организм увеличивает свою массу  $m = m(t)$ . Считается, что средняя плотность организма  $g$  мало меняется в течении фазы роста, имеем:  $m(t) = F(t) \times a(t) \times g$ , где  $F$  - поверхность растущего организма;  $a(t)$  — некоторый возрастающий со временем линейный параметр растущего организма. Тогда из (4) следует:

$$\frac{dA_i}{dt} = \frac{k \times m(t)}{a(t) \times g} (T - T') \text{ или учитывая, что } \frac{dA_i}{dt} = T \frac{dS}{dt}, \text{ имеем: где } dS/dt - \text{удельное производство энтропии, т.е. Производство энтропии, рассчитанное на единицу массы организма.}$$

$$\frac{1}{m(t)} \times \frac{dA_i}{dt} = \frac{1}{m(t)} \times T \times \frac{dS}{dt} = T \frac{dS_{\text{уд}}}{dt},$$

$$\frac{k(T - T')}{g} \times \frac{1}{a(t)} = T \frac{dS_{\text{уд}}}{dt}$$

$$\text{где } \frac{k(T - T')}{g} \times \frac{1}{a(t)} - \text{тепловой поток из единицы массы организма. И отсюда: } \frac{d}{dt} \left[ \frac{k(T - T')}{g} \times \frac{1}{a(t)} \right] = \frac{d}{dt} \left[ T \frac{dS_{\text{уд}}}{dt} \right] < 0, \text{ Поскольку } 1/a(t) \text{ есть убывающая функция от времени. Молодое теплокровное животное выделяет больше тепла, рассчитанного на единицу массы по сравнению со взрослым организмом.}$$

Чем меньше теплокровное животное, тем больше оно выделяет тепла, рассчитанного на единицу массы.

**2. Проанализировать переход от детерминированной системы к статической.****3. Обосновать применение вибрационных нагрузок и массажа в физиотерапии.**

Несмотря на отрицательное отношение к вибрации, томский врач Крейнер в 1957 году вновь вернулся к ее использованию в лечебных целях. Им было показано, что вибрация стимулирует процесс диффузии, характеризующий обменные реакции, усиливает сорбционные свойства протоплазмы. В зависимости от амплитуды механических колебаний может быть либо повышена, либо снижена активность ферментов. Особенно успешно Крейнер применял свою методику для лечения поясничного и шейного остеохондроза, пояснично-крестцового радикулита, травм периферических нервов конечностей. Существует два подхода к использованию вибрации в качестве лечебно-

диагностического средства. Первый традиционный – воздействие на весь организм. При этом процессе будут стимулироваться не только органы и системы, нуждающиеся в лечебном воздействии, но и другие, для которых вибровоздействие может оказаться нежелательным. Второй – при котором вибровозбуждение адресуется к локальным кожным зонам. В основе этого подхода лежат следующие представления. Кожа весьма обильно иннервирована механо-рецепторами, передающими информацию в различные отделы ЦНС, тем самым оказывая влияние на деятельность различных органов. Кроме того, на коже многочисленные биологически активные зоны, возбуждение которых адресуется различным системам организма. Возбуждение этих локальных зон кожи, позволяет избежать воздействия на другие органы кроме выбранного.

# 1. Доказать, что удельное производство тепла на единицу площади не зависит от размеров животного.

Чем меньше теплокровное животное, тем больше оно выделяет тепла, рассчитанного на единицу массы. Можно обозначить:

$$K \times \frac{1}{a} = T \frac{dS_{\text{вн}}}{dt},$$

где  $K = \frac{k(T - T_0)}{g} \approx \text{const}$  является приблизительно постоянной величиной для всех теплокровных животных. Отсюда следует, что чем больше животное, тем меньше оно выделяет тепла на единицу массы. Производство тепла, рассчитанное на единицу поверхности организма приблизительно постоянная величина для всех теплокровных животных "от мыши до слона". Из (4)

$$k(T - T_0) = \frac{1}{F} \times T \frac{dS}{dt} = K \times g \approx \text{const}$$

закон поверхности Рубнера.

Величина  $\frac{d}{dS} \left( T \frac{dS_{\text{вн}}}{dt} \right) < 0$  для энергетических процессов, которые протекают в организме теплокровных животных, находящихся в стационарных условиях взрослой особи и растущего организма.

экспериментально показано, что в эмбриогенезе высокоразвитого теплокровного организма начиная с оплодотворения яйцеклетки и кончая рождением животного происходит непрерывное нарастание интенсивности теплового потока из единицы массы дифференцирующегося организма.

Это положение может быть наглядно представлено при графическом изображении всех трех фаз онтогенеза теплокровного животного в виде функции удельного производства энтропии от времени. В фазе эмбриогенеза, когда происходят процессы дифференциации живой материи, происходит непрерывное нарастание удельного производства энтропии. Нарастание удельного производства энтропии в ходе эмбриогенеза является энергетическим выражением развития живой материи, образующей все более сложные органы, которые выполняют все целесообразные специфические функции.

## 2. Обосновать возможность детерминированного хаоса.

Детерминистский хаос относится к ограниченной случайности, которая может или ассоциироваться или порождать фрактальную структуру. Где бы в природе в результате хаотического процесса не формировался тот или иной элемент природной среды, повсюду с большой вероятностью обнаруживаются и фракталы. Фрактал состоит из геометрических фрагментов различного размера и ориентации, но аналогичных по форме. Например, нейроны обладают фракталоподобной структурой. Если рассматривать эти нейроны через микроскоп с небольшим увеличением, то можно увидеть отходящие от тела клетки ассиметричные разветвления дендритов. При несколько большем увеличении микроскопа можно наблюдать ещё меньшие ответвления, отходящие от крупных ветвей. При ещё более сильном увеличении обнаруживается новый уровень структуры: ответвление от ответвлений. На каждом уровне масштаба структура фрактала подобна, хотя возможно не идентична структурам, наблюдаемым как в более крупных, так и в более мелких масштабах. То есть фрактал обладает внутренним свойством самоподобия.

В организме человека множество фракталоподобных структур – кровеносные сосуды и различные протоки, нервная система, дыхательные пути по которым воздух поступает в легкие. Фрактальные структуры в человеческом организме являются результатом медленной динамики эмбрионального развития и эволюции. Весьма возможно, что эти

процессы порождены детерминистским хаосом.

Наиболее известный пример – ритм сердца. При прослушивании пульса, ритм сердечных сокращений кажется устойчивым и неизменным. Поэтому кардиологи традиционно описывают нормальную работу сердца в виде синусоидальной кривой частота сердечных сокращений, вместо того, чтобы стремиться к гомеостатической стабильной величине, может претерпевать значительные флуктуации даже в отсутствие флуктуаций во внешней среде и стимулах.

Более тщательный анализ показывает, что у здоровых людей сердечный ритм подвержен значительным колебаниям, даже в состоянии покоя. У здоровых молодых людей частота пульса составляет в среднем около 60 ударов в минуту и может колебаться в пределах 20 ударов в минуту на протяжении каждых нескольких ударов. В течении дня частота сердечных сокращений может меняться от 40 до 180 ударов в минуту.

Согласно концепции гомеостаза, вариации сердечного ритма – это просто временные ответные реакции на флуктуации в окружающей среде. А во время заболевания или в результате старения организма становится труднее поддерживать постоянный сердечный ритм и амплитуда его вариации возрастает. Однако совершенно другая картина обнаруживается при тщательной регистрации нормального сердечного ритма удар за ударом в течении суток. Этот график выглядит «рваным», нерегулярным и на первый взгляд случайным. Однако если отложить данные о частоте сердечных сокращений в нескольких временных масштабах, то выявляется некоторая закономерность.

Если проанализировать поведение кривой на участке в несколько часов, то на графике можно найти более быстрые флуктуации, диапазон и последовательность которых похожа на соответствующие характеристики исходного графика, охватывающего более длительный период. В ещё более мелком временном масштабе (минуты) можно обнаружить ещё более быстрые флуктуации, которые опять таки напоминают флуктуации на исходном графике. Флуктуации ритма в различных масштабах времени выглядят подобными сами себе точно так же как ветви геометрического фрактала. Это наблюдение свидетельствует о том, что механизм, управляющий сердечным ритмом, по своей сути может быть хаотическим.

### 3. Сравнить физические характеристики сред для тепловых ванн.

Водолечебные и теплолечебные методы по своему характеру и особенностям тесно связаны с природными оздоровительными факторами окружающей среды. Эти факторы очень многообразны в своих модификациях (твердые, жидкие, газообразные) и методических приемах. Все эти методы действуют на организм путем температурных, механических и химических раздражений.

В качестве физических сред, применяемых для водолечения и теплолечения, используют **воду, грязь, парафин, озокерит, нафталан, глину.**

Определяющими в действии этих сред на организм являются их физические и химические свойства. Из физических свойств главное значение имеют теплоемкость, теплопроводность и теплоудерживающая способность.

Химические особенности указанных сред обусловлены содержащимися в них минеральными солями, органическими и газообразными веществами.

**Теплоемкость** — количество тепла, необходимое для нагревания тела на 1 °С; **теплопроводность** — способность передавать тепло от одной части тела к другой; **теплоудерживающая способность** — способность удерживать тепло. Эти физические особенности у разных теплолечебных средств различны (табл. 2.3).

От теплоемкости и теплопроводности зависят степень раздражения организма человека и его ответная реакция. Вода обладает высокой теплоемкостью. Для нагрева 1 л воды на 1°С требуется затратить столько тепла, сколько нужно, чтобы нагреть на 1°С 8 кг железа.

Основные физические характеристики различных сред

Физическая среда	Относительная плотность	Влажность, %	Теплоемкость, кал	Коэф. теплопроводности	Теплоудерживающая способность
Вода при 14–15 °С	1	—	1	0,00148	—
Иловая грязь	1,20–1,60	40	0,50–0,80	0,0018	450
Торф	1,05–1,15	80	0,80	0,0018	850
Сапропели	1,05–1,15	95	0,73–0,94	0,0011	850
Глина	1,40–1,70	28	0,42–0,74	0,0018	380
Парафин	0,9	—	0,77	0,0006	1190
Озокерит	0,9	—	0,80	0,0004	875

**Теплопроводность** воды в 28–30 раз выше теплопроводности воздуха. Столь высокие теплопроводность и теплоемкость воды обуславливают высоту средней индифферентной температуры ее для человека — 34–36 °С (индифферентная температура воздуха гораздо ниже—22–23 °С).

При пользовании **теплотерапевтическими средами** значительную роль играет механический фактор (давление, трение и т. д.). В пресной ванне высота столба воды в 0,5 м оказывает давление в 1/5 ат, которое может влиять на дыхание и кровообращение человека.

Давление, которое оказывают такие среды, как **грязь, парафин, озокерит**, способствуют более глубокому прогреванию тканей путем контакта, потому что кровь в сдавленных капиллярах кожи уносит меньше тепла.

Широко используют сочетанное действие лечебных факторов: давление и температуру (душ Шарко), механическое действие и температуру (струевой душ) и т. д.

**Теплотерапевтические среды** используют и с целью химического раздражения, которое обусловлено теми минеральными солями и газообразными веществами, содержащимися в них (иловые грязи, минеральные ванны и пр.).

Основным местом приложения температурных раздражителей является **кожа**, которая снабжена множеством кровеносных сосудов. Изменение кровообращения в ней под влиянием температурных воздействий проявляется разнообразными реакциями в различных органах и системах организма. Температурная рецепция кожи включает в себя две различные системы — тепловую и холодную.

Воспринимаемые кожными рецепторами температурные раздражения путем сложных и многообразных рефлексов вызывают реакцию, которая проявляется изменением физиологических процессов как в организме в целом, так и в отдельных его органах и системах. Реакция эта зависит от характера и интенсивности раздражителя, места его приложения, площади воздействия, а также от состояния реактивности организма.



При большой интенсивности термические воздействия могут вызвать разрушение большого числа кожных элементов. Примером подобного состояния являются различные степени отморожения и ожогов.

Еще И.П. Павловым было установлено, что при воздействии слабым теплом на кожу легко удается вызвать в коре головного мозга торможение (после тепловой ванны появляется сонливость). Влияние температурного раздражения не ограничивается местом приложения раздражителя, а распространяется на весь организм (генерализованный рефлекс).

**Температурные раздражители** способствуют уменьшению и даже прекращению боли. Например, при сильном охлаждении кожи хлорэтилом наступает местная анестезия, которая позволяет безболезненно проводить небольшие хирургические операции (температурные воздействия, «блокируя» соответствующие рецепторы кожи, препятствуют переносу патологических импульсов в центральную нервную систему).

Температурные раздражения рефлекторно влияют на ширину просвета кровеносных сосудов и, следовательно, на **распределение крови в организме**. Так, при применении ножных горячих или холодных ванн отмечается рефлекторная реакция со стороны сосудов головного мозга.

**Реакция сосудов органов брюшной полости** на температурные раздражители диаметрально противоположна реакции сосудов кожи: при расширении сосудов кожи сосуды брюшных органов компенсаторно суживаются, и, наоборот, сужение сосудов кожи ведет к расширению сосудов органов брюшной полости. Исключение составляют сосуды почек, которые реагируют одинаково с сосудами кожи (закон Никитина-Дастр-Мора-Киричинского).

При использовании температурных раздражителей необходимо учитывать температуру и окраску кожи, которая различна на разных участках тела у одного и того же человека и может значительно колебаться от внешних воздействий (рис. 2.28).

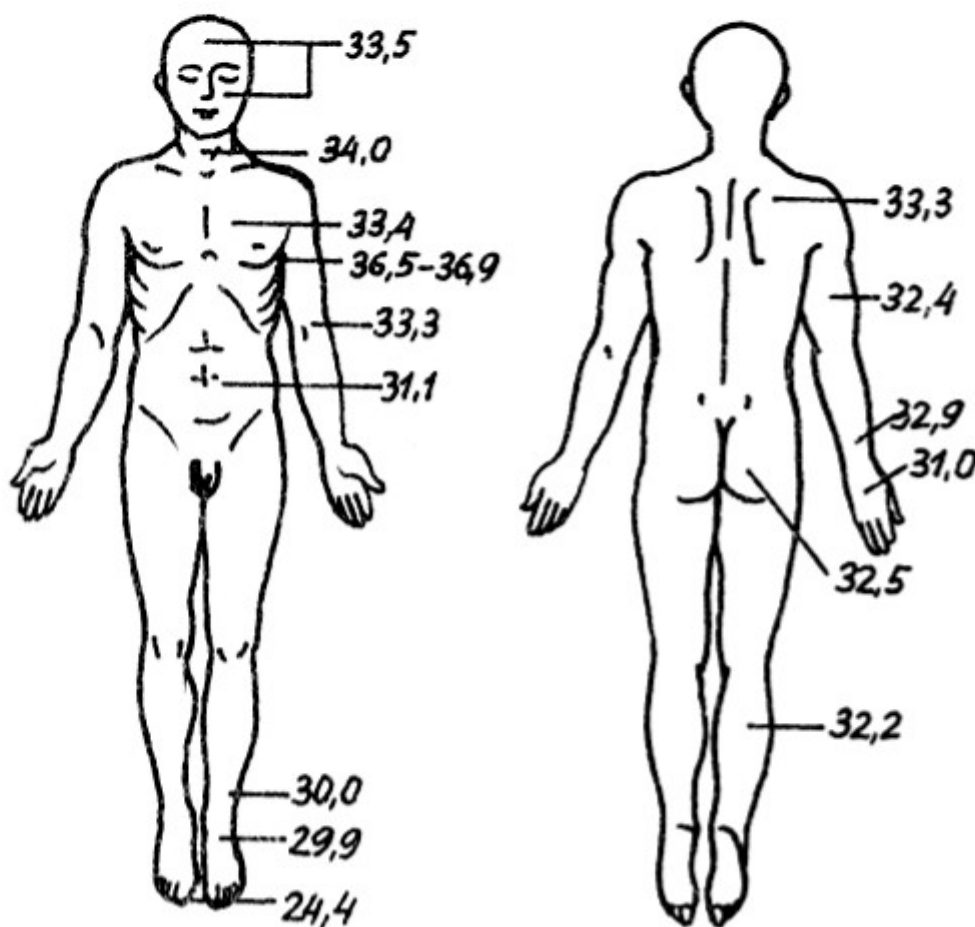


Рис. 2.28. Температура кожи различных участков тела (°C)

Температура внутренних органов, в противоположность температуре кожи, относительно постоянна — в пределах 37°C. В процессе эволюции у человека выработался ряд сложнейших приспособительных механизмов терморегуляции для поддержания постоянной температуры тела. Различают физическую и химическую терморегуляцию.

**В основе физической терморегуляции лежит кровенаполнение сосудов кожи.** Под воздействием высокой температуры сосуды кожи расширяются, прилив крови к коже усиливается, в результате чего увеличивается и теплоотдача.

При воздействии низкой температуры кожа охлаждается, сосуды ее суживаются, кровенаполнение уменьшается, что ведет к уменьшению теплоотдачи.

**Химическая терморегуляция связана с изменением интенсивности обмена веществ** под влиянием температуры окружающей среды. *Холод усиливает обмен веществ*, повышение же температуры снижает его.

Реакция сосудов на тепло отмечается не только на месте непосредственного его приложения (хотя здесь она самая интенсивная), но и на всей поверхности тела.

Применение тепла на область сердца вызывает учащение пульса, что обусловлено не непосредственным действием тепла на мышцу сердца, а раздражением рецепторов колен. Отмечается при тепловых процедурах (особенно при воздействии на весь организм) учащение дыхания и увеличение числа сердечных сокращений; при этом артериальное давление снижается.

При интенсивном действии тепла заметно усиливается процесс потоотделения. Потогонное действие тепловой процедуры может способствовать некоторому обеднению крови водой, что может влиять на рассасывание экссудата.

Отмечается влияние тепла на чувствительность организма: при кратковременном воздействии тепла чувствительность повышается, при более длительном — понижается.

Тепловые процедуры, также обладают антиспастическим и болеутоляющим действием. При длительном воздействии тепла на мышцы наблюдается расслабление их тонуса и увеличение усталости.

**Реакция организма на холодовые процедуры состоит из трех фаз.**

Для *первой фазы* характерно сужение сосудов кожи при действии холода. Кожа бледнеет, становится холодной, так как кровь перемещается к внутренним органам, что ведет к уменьшению теплоотдачи.

*Вторая фаза* реакции наступает меньше чем через минуту: происходит рефлекторное расширение сосудов кожи, она приобретает розово-красную окраску и становится теплой на ощупь.

Если действие холода продолжается, наступает *третья фаза* реакции: капилляры и мелкие вены остаются расширенными, а артериолы суженными, скорость кровотока замедляется, кожа становится багрово-красной, даже синюшной, холодной на ощупь.

Сужение сосудов кожи и повышение артериального давления при холодных процедурах в дальнейшем сменяется их расширением и понижением артериального давления.

Дыхание при холодовых процедурах вначале редкое и глубокое, а в дальнейшем учащается, усиливается обмен веществ и теплопродукция.

**Кратковременное воздействие холодом усиливает возбудимость нервов**, а более продолжительное — понижает ее. Холод вызывает и повышение возбудимости мышц. Применение холода задерживает развитие острых воспалительных процессов.

**Кратковременное воздействие холодом усиливает возбудимость нервов**, а более продолжительное — понижает ее. Холод вызывает и повышение возбудимости мышц. Применение холода задерживает развитие острых воспалительных процессов.

Изменения в организме, наступающие под влиянием водолечебной процедуры (со стороны нервной, сердечно-сосудистой и других систем, а также теплорегуляции и обмена веществ) проявляются неодинаково у разных больных. Совокупность этих изменений называется физиологической реакцией организма. О том, в каком направлении протекают эти изменения, судят по сосудистой реакции кожи.

При правильно выполненной водолечебной процедуре кожа краснеет и становится теплой; одновременно больные указывают на хорошее самочувствие, бодрость, ощущение приятного тепла.

Если же процедура выполнена неправильно, то наблюдают обратную картину: кожа становится бледной, холодной, появляется дрожь, нередко «гусиная кожа»: в этом случае процедура должна быть прекращена.