Некоторые новые представления о причинах формирования стимулирующих эффектов КВЧ-излучения

На основании собственных и литературных данных авторами сформулированы некоторые положения, которые дают возможность предложить общий механизм действия миллиметровых волн на фотосинтезирующие организмы.

По мнению авторов одной из важнейших причин стимулирующего эффекта однократного КВЧ-облучения низкой интенсивности на фотосинтезирующие объекты может быть развитие самоускоряющихся механизмов, реализующихся через первичные реакции автокаталитического типа, идущие в липидной фазе клеток.

On the base of own and literary dates authors are formulated some positions, which will enable to offer the general mechanism of action of millimeter waves on photosynthetic cells. In authors opinion one of important reasons of once action of EHF-irradiation of low intensity on photosynthetic objects can be the development of self-acceleration mechanisms realizing thanks to the rise of primary reactions of autocatalytic type going in lipid phase of cells.

Действие КВЧ-излучения (электромагнитное излучение миллиметрового диапазона нетепловой интенсивности) интенсивно изучается в последние 25 лет на различных биологических объектах (от бактерий до тканей и органов человека) и модельных системах, а также используется в практической медицине, что привело к созданию КВЧ-терапии [1]. В последние годы на фоне значительного ряда работ по действию ММ-излучения на живые организмы возникло новое направление, заключающееся в действии этого фактора на фотосинтезирующие объекты [2 - 13] и реакционные центры фотосинтезирующих бактерий [14 - 16].

Обзор экспериментальных данных по действию миллиметровых волн на биологические объекты свидетельствует о возможности существования таких механизмов взаимодействия ММ волн с клетками растительного или животного происхождения, которые затрагивают фундаментальные аспекты их жизнедеятельности.

В настоящее время выдвинуты довольно многочисленные гипотезы относительно первичных механизмов действия КВЧ-излучения на биологические объекты, однако это не внесло ясности в изучаемый вопрос.

Цель работы - предложить общий механизм действия КВЧ-излучения на фотосинтезирующие объекты. На протяжении ряда лет нами проводились приоритетные исследования взаимодействия КВЧ-излучения с фотосинтезирующими объектами, в качестве которых использовали цианобактерию *Spirulina platensis* (Nords.) Geitl.(прокариот) и зеленую морскую одноклеточную водоросль *Platymonas viridis* Rouch.(эукариот). Были выявлены некоторые общие закономерности этого взаимодействия [17] и изучены различные физиологические эффекты, вызываемые КВЧ-излучением: ускорение роста и увеличение биомассы, интенсификация процессов фотосинтеза, сопровождающаяся повышением выделения кислорода и содержания в клетках фотосинтезирующих пигментов, увеличение экскреции органических соединений в среду, изменение реакционной способности экзометаболитов, изменение транспорта ионов и др. [18].

Полученные нами данные по действию КВЧ-излучения на фотосинтезирующие организмы, начиная с первых работ по этому направлению [2 - 4, 19, 13], позволяют сформулировать несколько положений, которые позже дадут возможность предложить общий механизм действия миллиметровых волн на клетки:

отсутствие О2 в момент облучения культур фотосинтетиков приводило к снятию выраженного стимулирующего действия КВЧ-излучения;

исчезновение стимулирующего эффекта КВЧ-излучения после добавления селенита натрия (Na2SeO3);

несоответствие между малой величиной поглощенной энергии при однократном КВЧ облучении культур фотосинтезирующих организмов (про- и эукариотов) и величиной "ответа", выражающегося в значительном увеличении выхода биомассы (200 - 250 %), интенсивности фотосинтеза (до 350 %), нарастании количества фотосинтезирующих пигментов и уровня экскреции в среду органических соединений,

изменение проницаемости мембран клеток фотосинтетиков при однократном КВЧ-облучении для ряда ионов,

пролонгированное стимулирующее действие КВЧ-излучения на культуры фотосинтетиков, наблюдаемое с уменьшением эффекта в последующих пассажах.

Попытаемся рассмотреть каждое из высказанных положений с учетом имеющихся данных.

Нами было показано, что стимулирующее действие КВЧ-излучения на фотосинтезирующие организмы снималось при отсутствии кислорода в момент облучения (облучение в атмосфере аргона) по следующим показателям: биомассе, выделению кислорода, количеству хлорофилла, уровню фотодыхания [20]. Результаты опытов с заменой воздуха аргоном свидетельствовали о важной роли кислорода в момент облучения клеток, присутствие которого при КВЧ-облучении ответственно, по нашему мнению, за дальнейшее образование и накопление радикальных и перекисных состояний и развитие автокаталитических реакций типа цепных, идущих в липидной фазе мембран с накоплением конечных продуктов, приводящих к изменениям их функционального состояния, подобно тому, как это было показано значительно раньше при облучении клеток ионизирующей радиацией [21]. Весьма вероятно, что при отсутствии кислорода блокируются конформационные сдвиги в белковой фазе мембран, а также окисление сульфгидрильных и иных групп, что может влиять на изменения проницаемости мембран в присутствии кислорода.

Возможный механизм образования Н2О2 предложен в работе, в которой обнаружено образование наномолярных концентраций перекиси водорода под действием микроволнового поля [22].

На возможное образование перекиси водорода при КВЧ-облучении указывали также следующие факты. Ингибирование скорости размножения культуры *Bacterium prodigiosum* после ММ облучения коррелировало со снижением активности каталазы, разлагающей перекиси, количество которой в клетках снижалось на 25 - 35 % по сравнению с контролем [23].

Как известно, каталаза - важный внутриклеточный фермент-гемопротеид, который катализирует разложение перекиси водорода в клетках, а также участвует в сопряженных окислительных процессах.

Миллиметровое облучение лиофильно высушенных препаратов каталазы, полученной из эритроцитов лошади, выявило инактивацию этого фермента на всех используемых длинах волн в интервале от 3,0 до 6,7 мм [24].

Каталаза, добавленная к облученному буферу, устраняла ингибирующий эффект облучения СВЧ-полем на активности супероксиддисмутазы (СОД), что указывало на образование перекиси водорода в процессе облучения [22].

Некоторыми исследователями обсуждалась возможная роль кислорода, который на резонансных частотах при КВЧ-облучении, по их мнению, мог передавать водородносвязанным молекулам воды часть поглощенной энергии и запускать цепочки возбуждения, обусловливая общую частотную зависимость биологического эффекта [25].

Другие авторы наблюдали конвективное движение в воде вблизи поверхности, на которую падает ММ излучение, что сопровождалось ускорением поступления в кювету кислорода воздуха, о чем судили по скорости нарастания полярографического тока [26]. Из водного раствора в кювете, расположенной на рупоре, струей аргона вытеснялся воздух, а затем с помощью полярографического электрода регистрировалось обратное поступление О2 в раствор. Оказалось, что КВЧ облучение (длина волны 6,5 мм, мощность 0,5 мВт/см2) ускоряет нарастание концентрации О2 в растворе почти в 2 раза. Как считают авторы, под действием ММ волн ускоряется поступление в водный раствор кислорода воздуха за счет конвективного переноса [27], что может объяснять изменения транспортных свойств мембран.

Ускорение транспорта кислорода и других веществ в тканях и клетках, лимитированного переносом через жидкие среды, может являться, по-видимому, наряду с известными частотно-селективными (резонансными) эффектами одним из механизмов физиологического действия КВЧ-излучения низких интенсивностей [27].

Конвективным перемешиванием суспензии липосом и улучшением снабжения кислородом авторы объясняют помимо ускорения перекисного окисления липидов [27], также и ускорение активного транспорта ионов Na+ через кожу лягушки, изменение проницаемости мембран эритроцитов для ионов K+, увеличение проводимости бислойных липидных мембран.

Конвекция, таким образом, может, по мнению перечисленных авторов, являться первичным механизмом действия ММ волн на процессы жизнедеятельности [28], при этом порог чувствительности биологического объекта к непрерывному ММ излучению низкой интенсивности составляет мощности порядка 1 - 10 мВт/см2. В работе [29] на основании этих взглядов дается гипотетический механизм действия ММ волн слабой интенсивности, основанный на вызывании ими гидродинамической неустойчивости вблизи межфазной поверхности и ускорении диффузных процессов и мембранного транспорта.

В обзоре [30] более подробно в сущности рассматривались те же положения в отношении как КВЧ, так и СВЧ излучения, в том числе их действие на суспензии липосом, гетеротрофные микроорганизмы, грибы, мебраны эритроцитов, некоторые другие биологические объекты и приводится схема действия ММ волн низкой интенсивности, основанная на конвективном переносе веществ в воде.

Как известно, перекисное окисление липидов (ПОЛ) представляет собой цепной свободнорадикальный процесс окисления, в том числе ненасыщенных жирных кислот, входящих в клетках в состав молекул фосфолипидов, играющий ведущую роль при радиационных повреждениях, при интоксикациях и других патологических состояниях организма. В результате окисления фосфолипидов увеличивается проницаемость нативных мембран для ионов и других молекул [31].

Исследование влияния ММ волн на процессы ПОЛ в моделях биологических мембран (суспензия липосом в водном растворе) важно для выяснения первичных механизмов действия КВЧ-излучения на биологические объекты. В работе [32], проведенной на модельных системах, при использовании диапазона длин волн от 4,0 до 7,1 мм было обнаружено, что электромагнитное излучение миллиметрового диапазона длин волн ускоряет процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) в суспензии липосом при нетепловых мощностях излучения (не более 0,5 мВт/см2, при Lambda = 6,5 мм). Эффект КВЧ-облучения проявлялся при всех исследованных способах иниицирования ПОЛ -- добавление железо-аскорбатной смеси (Fe2+ - 2,4 мкМ, аскорбата - 200 мкМ), фотохимическое окисление, УФ-облучение - и величина его достигала 20 %. При плотности мощности меньше 0,2 мВт/см2 ускорения ПОЛ выявить не удалось. Объяснение эффекта ускорения ПОЛ общим нагревом препаратов, по-видимому, исключено. Так как скорость ПОЛ в мембранных системах сильно зависит от их структурного состояния [31], можно предположить, что обнаруженный этими авторами эффект связан с какими-то структурными изменениями мембран липосом или окружающей их воды при поглощении КВЧ-излучения.

В другой своей работе [33] авторы склонны объяснять эффекты ММ облучения при интенсивности 2 - 3 мВт/см2 ускорением процессов переноса протонов в воде на акцептор, что, повидимому, связано с высоким поглощением ММ излучения молекулами воды.

Существует в то же время ряд работ, рассматривающих иные свойства КВЧ-излучения при действии его на спектр объектов от модельных систем до интактных организмов.

При применении КВЧ-излучения в комплексном лечении заболеваний сердечно-сосудистой системы показано, что миллиметровое излучение обладает выраженным антиоксидантным действием, причем изменение содержания продуктов перекисного окисления липидов и увеличение антиоксидантного потенциала крови коррелирует с клиническим эффектом проводимых процедур [34]. При исследовании показателей перекисного окисления липидов крови у больных нестабильной стенокардией было показано влияние ММ-терапии на нормализацию показателей и антиоксидантную систему организма [35].

Отмечалось, что усиление свободнорадикальных реакций в мембранах клеточных элементов крови ведет к изменению проницаемости мембраны эритроцитов. Рецепция ММ волн разными видами тканей, по-видимому, связана со свободнорадикальными реакциями типа перекисного окисления липидов [36]. Мы уже говорили о работах, где изучалось усиление перекисного окисления липидов в липосомах и бислойных мембранах, на коже лягушки, что связывалось с конвекцией на границах фаз [32].

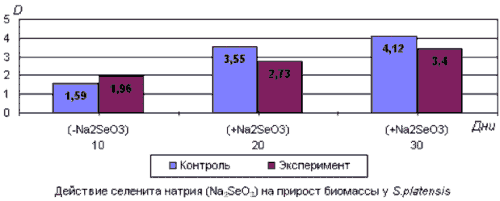
Изменение активности перекисного окисления липидов и тиол-дисульфидного обмена по реакции конечных продуктов окисления с 2-тиобарбитуровой кислотой при облучении ММ волнами интактных животных наблюдалось в работе [37].

В интересных работах, вышедших в последнее время, рассматривается регуляция активности супероксиддисмутазы и образование реактивных форм кислорода в водных растворах под действием КВЧ-излучения [22, 38].

Авторы [22] показали, что при облучении Na2CO3/NaHCO3 буфера СВЧ-полем 0,8 см диапазона (в сущности КВЧ-диапазона при lambda = 8 мм) в буфере образуются микромолярные концентрации перекиси водорода и, возможно, другие долгоживущие продукты, и предположили, что K - Ca - каналы активируются облученным буфером благодаря образующейся там перекиси водорода. В работе [38] было показано значительное образование реактивных форм кислорода, в частности, перекиси водорода в водных растворах под действием КВЧ-излучения, которые могут сохраняться в течение длительного времени и осуществлять опосредованное действие КВЧ-излучения на биосистемы.

Большинство имеющихся работ таким образом указывает на мембраны клеток различных объектов от растительных до мембран эритроцитов как на основное место приложения ММ излучения, где разворачиваются первичные механизмы, определяющие конечные эффекты действия. Различна, по мнению разных авторов, лишь суть механизмов, происходящих в мембранах. Приведенные литературные и наши данные по снятию действия КВЧ-излучения отсуствием О2, на наш взгляд, указывают на накопление в липидной фазе, в первую очередь мембран, перекисных и свободнорадикальных состояний, делая эту стадию воздействия КВЧ-излучения определяюще важной по сравнению с конвективным переносом веществ.

В наших экспериментах обнаружено исчезновение стимулирующего эффекта КВЧ-излучения на прирост биомассы *S.platensis* после добавления селенита натрия (Na2SeO3) в концентрации 50 мг/л на 10 сутки культивирования (рисунок). Известно, что соединения селена проявляют значительную антиоксидантную активность и значит должны уменьшать концентрацию перекисных и свободнорадикальных состояний, что подтверждает высказанное нами положение. Согласно работе, селен включается в активные центры глутатионпероксидазы и пероксидазы [39]. Показано также, что присутствие селенита натрия индуцировало образование глутатионпероксидазы у *Chlamydomonas [*40].



Рассматривая действие миллиметровых волн нужно учитывать ряд их особенностей. Известно, что при использовании низкоинтенсивных электромагнитных колебаний миллиметрового и субмиллиметрового диапазона длин волн с плотностью мощности порядка нескольких единиц, не более 10 мВт/см2 общий нагрев облучаемого вещества (тепловой массаж) является, видимо, несущественным и составляет величину порядка 0,1 С [41], хотя есть исследователи, придающие ему определенное значение.

К тому же энергия кванта излучения, даже в этой коротковолновой части КВЧ диапазона, остается все еще меньше энергии теплового движения, что делает нагревание объектов проблематичным. Верхним энергетическим порогом нетепловых биологических эффектов ММ волн можно считать величину Р = 10 мВт/см2 [42].

Таким образом, взаимодействие КВЧ-излучения с биологическими объектами, видимо, не обусловлено нагревом вещества.

Далее важно, что излучение в ММ диапазоне сильно поглощается различными веществами, в том числе водой и водными средами. Например, плоский слой воды толщиной 1 мм ослабляет излучение при lambda = 8 мм на 20 дБ [27], при длине волны 7,1 мм в 100 раз, а при длине волны 2 мм - в 10 000 раз.

Весьма важным нам всегда казалось несоответствие между малой величиной поглощенной энергии при однократном КВЧ-облучении фотосинтезирующих организмов и величиной "ответа", выражающейся в ускорении роста и значительном увеличении выхода биомассы. Это позволяет нам говорить об изменениях транспортной функции мембран, связанных, возможно, с наличием самоускоряющихся механизмов, развивающихся в их липидной фазе, как о важнейшей вероятной причине, влияющей на метаболизм облученных клеток, в том числе на проявление стимулирующих эффектов.

Если попытаться подсчитать поглощенную биологическим объектом энергию КВЧ-излучения, например, цианобактерией *Spirulina platensis* при однократном облучении ее в наших опытах, то следует, видимо, учитывать площадь облучаемой поверхности, мощность облучения и время воздействия. Например, облучение мы производили в круглых фторопластовых сосудах типа чашек Петри диаметром 5,5 см при мощности излучения порядка 2,2 мВт/см2 и lambda = 8,34 мм. Тогда за время облучения, равное 30 мин (оптимальное время для стимуляции роста *S.platensis*), чашка получит при однократном облучении, как показывает простой расчет, количество поглощенной энергии приблизительно равное 94 Дж или примерно 24 кал. Так как облучаемый объект находится в водной суспензии с толщиной слоя около 0,5 мм, то КВЧ-излучение ослабляется в этом слое, но и сами цианобактерии занимают при концентрации 0,03 г/л лишь небольшую часть облучаемого инокулята и все это, как нам кажется, дает основания уменьшить величину поглощенной энергии, как минимум, еще на порядок. При таких величинах нагревание объекта вряд ли может серьезно рассматриваться.

Тем не менее, как мы говорили, такое малое количество однократно поглощенной энергии вызывает как у прокариотных, так и у эукариотных фотосинтетических организмов такие весьма существенные последствия, как ускорение роста, увеличение выхода биомассы в 2-2,5 раза, увеличение количества пигментов в клетке до 3,5 раз, и уровня экскреции органических соединений в среду, что на наш взгляд свидетельствует о присутствии самоускоряющихся механизмов в развитии последствий облучения.

При изучении поглощения (выделения) ионов калия, натрия, хлора и нитрата в период роста цианобактерии *S.platensis* после воздействия КВЧ-излучения нами было показано, что концентрация ионов, особенно натрия и нитрата, в культуральной жидкости изменялась в зависимости от возраста культуры и параметров облучения [43 - 45].

Обнаружен двухфазный характер транспорта иона натрия у облученной культуры *S.platensis*. После облучения мы наблюдали изменения и в быстрой, и в медленной фазах кинетических кривых, отражающих транспорт натрия, что проявлялось уже на 10 сутки культивирования и зависело от параметров облучения. Определяющим для обоих типов транспорта является степень проницаемости поверхностной мембраны клетки [46]. Наши данные подтверждают мнение о том, что первичное действие КВЧ-излучения состоит в изменении проницаемости мембран и их транспортных свойств. Присутствие кислорода, очевидно, важно для возникновения изменений функционального состояния мембран, их проницаемости и для развития реакций последействия во времени, идущих по принципу самоускорения, как главных причин выраженного стимулирующего действия КВЧ-излучения на фотосинтезирующие объекты.

Подобные механизмы описывались ранее, например, при развитии первичных реакций лучевого поражения под влиянием гамма-излучения и представляли собой реакции цепного автокаталитического типа [21]. В пользу этого говорил ряд фактов, в частности, наличие несоизмеримости количества поглощенной энергии при действии гамма-излучения и ответной реакции организма позволило еще в 50 - х годах сформулировать гипотезу о решающей роли цепного окисления липидов в действии ионизирующей радиации, а затем - и в действии других повреждающих факторов [21]. Большой школой химиков было показано, что процесс образования перекисей липидов в подобных явлениях имеет цепной, свободнорадикальный механизм, характерный вообще для реакций окисления органических соединений непосредственно молекулярным кислородом [47].

Это не означает знака равенства в механизмах действия КВЧ-излучения и ионизирующей радиации, но некоторые внешние проявления имеют здесь сходство. Подобным действием обладает, по-видимому, и ультрафиолетовое облучение, вызывающее образование свободных радикалов в биологических системах и накопление перекисей. Ряд авторов отмечает, что УФ-облучение приводит к изменению транспорта ионов через мембрану: перекисное окисление липидов в мембранах приводило к повышению их проницаемости при сравнительно небольших дозах УФ [48]. Известно, что перекисное окисление связано также с потреблением кислорода, возможно поэтому при изучении действия УФ-облучения на биомолекулярные фосфолипидные мембраны [49] оказалось, что облучение в атмосфере аргона было значительно менее эффективным, чем в присутствии растворенного кислорода.

Весьма вероятно, что присутствие кислорода при КВЧ-облучении ответственно за дальнейшее образование и накопление радикальных и перекисных состояний и развитие автокаталитических реакций типа цепных, идущих в липидной фазе клеток, в первую очередь, мембран с накоплением конечных продуктов, приводящих к изменениям их функционального состояния, подобно тому, как это было показано ранее при облучении ионизирующей радиацией [21].

Таким образом, одной из причин нетеплового влияния КВЧ-излучения на биологические объекты может быть воздействие образуемой перекиси водорода, сильного акцептора электронов, способного регулировать функционирование многих ферментативных систем. Присутствие образующихся перекисей могло бы интенсифицировать процессы фотосинтеза вместе с накоплением пигментов, что мы и наблюдали в результате КВЧ-облучения [11]. Это хорошо совпадает со взглядами, согласно которым, фотосинтетический кислород формируется не из воды, а из пероксида водорода экзогенного и эндогенного происхождения [49, 50], и значит увеличение перекисей под действием каких-либо факторов в клетке соответствовало бы интенсификации фотосинтеза.

Вопросы пролонгированности действия КВЧ-излучения обсуждались в литературе, но не получили на наш взгляд окончательного толкования. Их пробовали связывать как с "памятью воды", так и с некими неизвестными свойствами клетки.

В работах [51] отмечается, что время "памяти" воздействия КВЧ-излучения на микроорганизмы даже при их постоянных пересевах может достигать нескольких месяцев, причем возвращение к исходным свойствам совершается постоянно. Наблюдается, по мнению авторов, "запоминание" организмом воздействий КВЧ на более или менее длительное время [52, 38].

По нашим данным действие КВЧ-излучения на фотосинтезирующие организмы имеет пролонгированный характер, постепенно ослабевая ко второму пассажу на фоне сохраняющегося повышенного количества пигментов в клетках (табл.1). Эти данные свидетельствуют о сохранении стимулирующего эффекта облучения на прирост биомассы при последующих пассажах облученной культуры *S.platensis*. В связи с этим представляло интерес выяснить, как меняется при этом фотосинтетическая активность. Оказалось, что она у облученных ранее культур гораздо выше контрольных, что совпадает с данными по приросту биомассы. К 30 суткам роста фотосинтетическая активность во всех вариантах выравнивалась (табл.2).

Табл.1. Пролонгированное действие стимулирующего эффекта КВЧ-излучения у *S.platensis (биомасса в г/л)*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина волны, мм | Оптическая плотность, *D* | | | Прирост биомассы по сравнению с контролем, % |
| 10 сут | 20 сут | 30 сут |
| 7,1 | 1,14 | 3,20 | 8,40 | 22,8 |
| 6,5 | 1,40 | 3,80 | 11,7 | 71,0 |
| 5,6 | 1,14 | 5,60 | 10,44 | 52,6 |
| Контроль | 1,04 | 2,92 | 6,84 |  |

Табл.2. Изменение фотосинтетической активности при пролонгированном действии КВЧ-излучения у *S.platensis*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина волны, мм | Биомасса, D | Прирост биомассы, % | Выделение O2 нмоль/мин/D | Стимуляция фотосинтеза, % |
| 20 сут | | | | |
| 7,1 | 2,72 | 9,6 | 16,3 | 17,2 |
| 6,5 | 3,28 | 32,2 | 15,05 | 8,3 |
| 5,6 | 4,8 | 93,5 | 8,23 | - |
| Контроль | 2,48 |  | 13,9 |  |
| 30 сут | | | | |
| 7,1 | 5,88 | - | 14,5 | 2,8 |
| 6,5 | 10,2 | 41,6 | 11,2 | - |
| 5,6 | 9,0 | 25,0 | 15,5 | 9,9 |
| Контроль | 7,2 |  | 14,1 |  |

Мы определяли также спектральные характеристики при пролонгированном действии КВЧ-облучения при длине волны 8,34 мм у культур *P.viridis* на 20 сутки в первом пассаже после облучения. Контролем служила необлученная культура. Результаты измерений представлены в табл.3. Видно, что увеличение количества пигментов, свидетельствующее об интенсификации процесса фотосинтеза в результате действия КВЧ-излучения при оптимальных параметрах, сохраняется в течение значительного времени, особенно при оптимальном времени облучения, равном 60 мин.

Табл.3. Пролонгированное действие КВЧ-излучения на структуру пигментов у зеленой водоросли *P.viridis* (lambda = 8.34 мм, P = 2,7 мВт/см2, первый пассаж)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Время облучения, мин | Оптическая плотность, D | | |
| Хлорофилл *a* | Хлорофилл *b* | Каротиноиды + хлорофилл |
| 15 | 0,61 | 0,37 | 0,87 |
| 30 | 0,63 | 0,38 | 0,89 |
| 60 | 0,78 | 0,48 | 1,03 |
| Контроль | 0,58 | 0,36 | 0,84 |

Вряд ли пролонгированный характер действия однократного КВЧ-облучения можно связывать с его мутагенным действием, которое исследовалось, но не подтвердилось у других объектов, и что можно объяснить низкой поглощаемой энергией миллиметровых волн. Мы также не наблюдали каких-либо морфологических изменений в клетках облученных культур.

Пролонгирование можно было бы объяснить, по нашему мнению, с одной стороны, - затуханием самоускоряющихся механизмов развития стимуляции, а с другой - возвращением к норме функционального состояния мебран клеток.

По имеющимся литературным данным относительно "памяти воды" высказывалось мнение, что она сохраняется после облучения электромагнитным излучением в течение нескольких суток [53]. Такой же пролонгированный характер действия КВЧ-излучения наблюдался на гетеротрофных микроорганизмах - *E.coli*, дрожжеподобном грибе *Endomyces fibuliger*, спиртовых и пивоваренных дрожжах [54].

Обсуждение

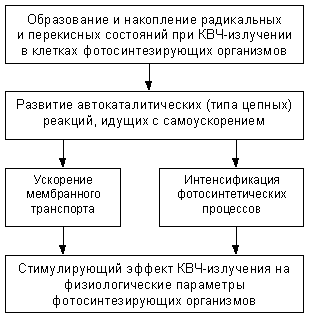
Нами были в этой работе рассмотрены различные факты и данные, которые так или иначе связаны с поставленными в начале статьи вопросами. Можно, как нам кажется, не повторять приведенные литературные подтверждения развиваемым взглядам и наши собственные данные. Можно лишь еще раз подчеркнуть, что данные по соотношению фотосинтеза и темнового дыхания, а также по поглощению и выделению ионов, полученные нами, позволяют говорить об изменениях транспортной функции мембран, связанных, возможно, с развитием самоускоряющихся механизмов, развивающихся в их липидной фазе в присутствии кислорода, как о важнейшей вероятной причине, влияющей на метаболизм облученных клеток, в том числе на проявление стимулирующих эффектов.

Радикальные и перекисные состояния, возникающие при КВЧ-облучении, по нашему мнению, могут быть важнейшим звеном в механизмах самоускорения, сопровождающих развитие первичных реакций при действии КВЧ-излучения.

Тот факт, что стимулирующее действие КВЧ-излучения снимается при облучении цианобактерии *Spirulina platensis* в атмосфере аргона [20] может быть объяснен тем, что под действием КВЧ-излучения меняется либо активность кислородзависимых реакций в клетке, либо в аэробных условиях образуются реактивные формы кислорода (РФК). Известно, что РФК в достаточно низких концентрациях могут оказывать многостороннее регуляторное действие на биосистемы. Перекись водорода также относят к активным формам кислорода (АФК), образуется она из супероксида под действием супероксиддисмутазы.

Величина образующихся концентраций перекиси водорода и других перекисных состояний определяет развитие тех или иных биологических эффектов от стимуляции фотосинтеза до повреждения клетки [55].

На основании литературных и собственных экспериментальных данных мы можем предложить следующий гипотетический механизм действия КВЧ-излучения на процессы жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов:



Литература

*Девятков Н.Д., Голант М.В., Бецкий О.В.* Особенности медико-биологического при-менения миллиметровых волн. - М.: ИРЭ РАН, 1994.

*Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Яковлева М.Н., Мантрова Г.М., Гусев М.В.* Стимуля-ция роста сине-зеленых водорослей при действии электромагнитного излучения ММ диапазона низкой интенсивности. - Применение ММ излучения низкой интенсивности в биологии и медици-не. - М.: ИРЭ АН СССР, 1986.

*Tambiev A.H., Gusev M.V., Kirikova N.N., Beckiy O.V., Gulaev U.V.* Stimulation of growth of cyanobacteria by millimeter electromagnetic radiation of low intensiveness. - Trade Exibition Microbe-86. XIX Intern. Congr. Microbiol., September 7-13:Abstr. - Manchester, England, 1986.

*Тамбиев. А.Х., Кирикова Н.Н., Лапшин О.М., Яковлева М.Н., Мантрова Г.М.* Изме-нение реакционной способности экзометаболитов сине-зеленой водоросли спирулина под дейст-вием ММ излучения. - Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения. - М.: ИРЭ АН СССР, 1987.

*Петров И.Ю., Бецкий О.В.* Изменение потенциалов плазматических мембран клеток листа зеленого растения при электромагнитном облучении. - ДАН СССР, 1989, т. 305, № 2.

*Шестопалова Н.Г., Баева Т.И., Баркова И.Н.* Реакция растений на действие радио-волн миллиметрового диапазона. - Применение КВЧ излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. - М.: ИРЭ АН СССР, 1989.

*Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лапшин О.М. и др.* Стимулирующее действие электро-магнитного излучения миллиметрового диапазона низкой интенсивности на рост микроводорос-лей. - Вестн.Моск.ун-та. Сер.16.Биология, 1990, № 1.

*Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лапшин О.М., Гусев М.В.* Изменение ростовых харак-теристик при воздействии на микроводоросли электромагнитного излучения миллиметрового диапазона низкой интенсивности. - Вестн. Моск. ун-та. Сер.16. Биология, 1990, № 2.

*Петров И.Ю. Морозова Э.В, Моисеева Т.В.* Стимуляция процессов жизнедеятельности в растениях микроволновым излучением. - Межд. симп. "Миллиметровые волны нетепловой ин-тенсивности в медицине". Сб. докл. - М.: ИРЭ АН СССР, 1991.

*Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н.* Перспективы применения электромагнитного излучения миллиметрового диапазона в фотобиотехнологии. - Миллиметровые волны в биологии и медици-не, 1992, № 1.

*Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лапшин О.М.* Изменение фотосинтетической активно-сти микроводорослей под влиянием электромагнитного излучения. - Физиология растений, 1992, т. 39, в. 5

*Tambiev A.H., Kirikova N.N.* Effect of EHF-irradiation on the physiological activity of cyanobacteria. - Abstr. YIII Intern. Symposium on phototrophic prokaryotes, Urbino, September 10-15, 1994.

*Tambiev A.H., Kirikova N.N.* The prospects of use of EHF radiation in photobiotechnology. - Biological aspects of low intensity millimeter waves. - M.: Seven plus, 1994.

*Лукашев Е.П., Кононенко А.А., Нокс П.П., Гайдук В.И., Цейтлин Б.М., Рубин А.Б., Бецкий О.В.* Влияние поляризации КВЧ излучения на эффективность переноса электронов в системе хинонных кофакторов фотосинтетического реакционного центра. - ДАН СССР, 1991, т. 318, № 2.

*Нокс П.П., Пащенко В.З., Логунов С.Л., Чаморовский С.К., Чурин А.А.* Влияние ЭМИ КВЧ на динамику формирования триплетных состояний в фотосинтетических реакционных центрах пурпурных бактерий и спектры РКР каротиноидного компонента. - Межд. симп."Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине". Сб.докл. - М.: ИРЭ АН СССР, 1991.

*Рубин А.Б., Лукашев Е.П., Чаморовский С.К., Кононенко, А.А., Кузнецов А.Н., Яре-менко Ю.Г.* Влияние ЭМИ КВЧ на перенос зарядов в светочувствительных пигмент-белковых комплексах по данным импульсной абсорбционной спектроскопии милли - и микросекундного временного разрешения. - Миллиметровые волны в медицине. - М.: ИРЭ АН СССР, 1991, т. 2.

*Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н.* Общие закономерности действия КВЧ-излучения на фотосинтезирующие объекты. - 10 Росс. симп. с межд. участ. "Миллиметровые волны в медици-не и биологии". Сб.докл. - М.:ИРЭ РАН, 1995.

*Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н.* Действие КВЧ-излучения на метаболизм клеток циано-бактерии *Spirulina platensis* и других фотосинтезирующих организмов. - Биомедицин-ская радиоэлектроника, 1998, № 3.

*Tambiev A.H., Kirikova N.N., Lapshin O.M., Gusev M.V.* Physiological criterion of cyanobacterium growth stimulation. - 8th Int. Biotechn. Symp.: Abstr. book. - Paris, Juli 17-22, 1988.

*Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лебедева А.Ф.* Влияние КВЧ-излучения на физиологи-ческую активность микроводорослей. - Вестн. Моск. ун-та. Сер.16. Биология, 1993, № 1.

*Тарусов Б.Н.* Первичные процессы лучевого поражения. - М.: Госатомиздат, 1962.

*Маринов Б.С., Чайлахян Л.М.* Регуляция активности супероксиддисмутазы сверхвы-сокочастотным излучением. Механизм действия СВЧ. - ДАН РФ, 1997, т. 356, № 6.

*Кондратьева В.Ф., Чистякова Е.Н., Иванова Н.Б., Казанская А.Д.* Ферменты в экс-периментальной и клинической онкологии и радиобиологии. - Труды ЛХФИ, 1967, т.20, № 1.

*Манойлов В.Е., Манойлов С.Е., Комов В.П., Дмитриева В.А., Чистякова В.Н., Панкра-тов Ю.В., Манойлов Ю.С.* Ферменты в экспериментальной и клинической онкологии и радио-биологии. - Труды ЛХФИ, 1967, т.20, № 1.

*Хургин Ю.И., Бецкий О.В., Церевитинова Н.Г., Перепечкина Т.Л.* О природе пер-вичной мишени при воздействии низкоинтенсивного миллиметрового излучения на биологические объекты. - Медико-биологические аспекты милиметрового излучения. - М.: ИРЭ АН СССР, 1987.

*Бецкий О.В., Казаринов К.Д., Путвинский А.В., Шаров В.С.* Конвективный перенос растворенных в воде веществ как возможный механизм ускорения мембранных процессов под действием миллиметрового излучения. - Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового из-лучения на биологические объекты. - М.: ИРЭ АН СССР, 1983.

*Шаров В.С., Казаринов К.Д., Андреев В.Е., Путвинский А.В., Бецкий О.В.* Ускоре-ние перекисного окисления липидов под действием электромагнитного излучения миллиметрово-го диапазона. - Биофизика, 1983, т. 28.

*Бецкий О.В., Путвинский А.В.* Биологические эффекты миллиметрового излучения низкой интенсивности. - Изв. вузов МВ и ССО СССР. Радиоэлектроника, 1986, т. 29, № 4.

*Полников И.Г., Казаринов К.Д., Шаров В.С., Путвинский А.В., Бецкий О.В.* Гидро-динамическая неустойчивость на межфазной границе при поглощении ММ излучения низкой ин-тенсивности. - Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и ме-дицине. - М.: ИРЭ АН СССР, 1985.

*Казаринов К.Д.* Биологические эффекты КВЧ-излучения низкой интенсивности. - Итоги науки и техники. Биофизика, 1990, т.27, № 3.

*Владимиров Ю.А., Арчаков А.И.* Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. - М.: Наука, 1972.

*Андреев В.Е., Бецкий О.В., Ильина С.А., Казаринов К.Д., Путвинский А.В., Шаров В.С.* Ускорение перекисного окисления липидов в липосомах под действием миллиметрового излучения. - Нетепловые эффекты миллиметрового излучения. - М.: ИРЭ АН СССР, 1981.

*Полников И.Г., Твердохлеб П.Е., Путвинский А.В., Майрановский С.Г.* Ускорение диффузионных процессов и химических реакций протонизации в водных средах при миллиметро-вом облучении. - Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. - М.: ИРЭ АН СССР, 1985.

*Лебедева А.Ю.* Применение электромагнитного излучения миллиметрового диапазона в комплексном лечении заболеваний сердечно-сосудистой системы. - 11 Межд. симп. "Милли-метровые волны в медицине и биологии". Сб. докл. - М.: ИРЭ РАН, 1997.

*Лебедева А.Ю., Люсов В.А., Волов Н.А., Щелкунова И.Г.* Динамика процессов пере-кисного окисления липидов у больных нестабильной стенокардией при проведении ММ-терапии. - Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1995, т. 5.

*Родштат И.В.* Физиологические аспекты рецепции миллиметровых радиоволн биологи-ческими объектами. - Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине", М.: ИРЭ АН СССР, 1985.

*Мартынюк В.С., Темурьянц Н.А.* Роль перекисного окисления липидов и тиол-дисульфидного обмена в механизмах антистрессорного действия электромагнитного излучения крайне высокой частоты. - Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1995, № 5.

*Поцелуева М.М., Пустовидко А.В., Евтодиенко Ю.В., Храмов Р.Н., Чайлахян Л.М.* Образование реактивных форм кислорода в водных растворах под действием электромагнитного излучения КВЧ-диапазона. - ДАН СССР, 1998, т.359, в. 3.

*Bienvenu P., Herodin F., Fatome M., Kergnou J.F.P.* Selenium in medicine and biology. - Berlin, 1988.

*Shigeoka S., Takeda T., Ishikawa T.* Metabolism of hydrogen peroxide in algae. - BioFactors, 1995, v.5, n 1.

*Betskii O.V.* Electromagnetic millimeter waves and living organisms. -Biological aspects of low intensity millimeter waves. - M.: Seven plus, 1994.

*Диденко Н.П., Зеленцов В.Т., Ча В.А.* О конформационных изменениях биомолекул при взаимодействии с электромагнитным излучением. - Эффекты нетеплового воздействия мил-лиметрового излучения на биологические объекты. - М.: ИРЭ АН СССР, 1983.

*Маркарова Е.Н, Кирикова Н.Н., Саари Л.А., Тамбиев А.Х.* Поглощение минеральных веществ у *Spirulina platensis* при действии КВЧ-излучения. - Вестн.Моск. ун-та. Сер.16.Биология, 1992, в.2.

*Маркарова Е.Н., Кирикова Н.Н., Тамбиев А.Х.* Действие КВЧ-излучения на кинетику транспорта натрия у Spiruli№a plate№sis. - Вестн. Моск. ун-та. Сер.16. Биология, 1995, в. 2.

*Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Маркарова Е.Н.* Влияние электромагнитного излуче-ния на рост и ионный статус среды культивирования у S.platensis. - Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1996, № 8.

*Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Маркарова Е.Н.* Влияние КВЧ-излучения на транс-портные свойства мембран у фотосинтезирующих организмов. - Радиотехника, 1997, № 4.

*Эмануель Н.М., Зайков Г.Е., Мицус З.К.* Роль среды в радикально-цепных реакциях окисления органических соединений. - М.: Наука, 1973.

*Потапенко А.Я., Рощупкин Д.И., Коган Е.А., Владимиров Ю.А.* Исследование дейст-вия У.-Ф. света на биологические мембраны. Изменение электропроводности биомолекулярных фосфолипидных мембран. - ДАН СССР, 1972, т. 202.

*Комиссаров Г.Г.* Фотосинтез: взгляд с новых позиций. Наука в России. - М.: Зна-ние, 1994, № 5.

*Комиссаров Г.Г.* Фотосинтез как физико-химический процесс. - Химическая физи-ка., 1995, т. 14, № 11.

*Искин В.Д., Завгородний Ю.В., Яценко Н.М., Силина Л.К., Степула Е.В., Медведовский А.В., Райс Б.Г., Руденко С.В.* Биологические эффекты миллиметровых волн. - Биофизика, 1987. Препринт № 7591-В87.

*Девятков Н.Д., Гельвич Э.А., Голант М.Б., Реброва Т.Б., Севастьянова Л.А.* Ра-диофизические аспекты использования в медицине энергетических и информационных воздейст-вий электромагнитных колебаний. - Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ, 1981, т.9, № 333.

*Гапочка Л.Д., Гапочка М.Г., Королев А.Ф., Костиенко, А.И., Сухоруков А.П., Тимошкин И.В.* Воздействие электромагнитного излучения КВЧ и СВЧ диапазонов на жидкую воду. - Вестн. Моск. ун-та. Сер.3. Физика. Астрономия, 1994, т. 35, № 4.

*Реброва Т.Б.* Влияние электромагнитного диапазона на жизнедеятельность микроорганизмов. - Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1992, № 1.

*Скулачев В.П.* Старение организма - особая биологическая функция, а не резуль-тат поломки сложной живой системы: биохимическое обоснование гипотезы Вейсмана. - Биохимия, 1997, т. 62, в. 1.