

УДК 615.012.6+621.371

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МИКРООРГАНИЗМЫ

Кузнецов Д. Б.

Пермская государственная фармацевтическая академия Росздрава, Пермь, Россия (614077, Пермь, ул. Бульвар Гагарина, 72), e-mail:denis.pfa@gmail.com

Разные авторы приводят различные механизмы воздействия излучения крайне высокой частоты на живые объекты. Единого мнения на эти явления нет и по сей день. В работе приводится обзор научных данных по воздействию крайне высокочастотного излучения на микробиологические объекты и взгляды различных авторов, как в ретроспективе, так и в настоящее время на механизмы, протекающие в живой материи. Проведенный анализ научных данных позволяет отбросить устаревшие представления и уточнить физико-химические механизмы воздействия крайне высокого частотного излучения. Как в ранних работах, так и сейчас ключевым элементом в механизмах воздействия является вода как первичный акцептор. В поздних работах с расширением научно-технических методов показывается механизм с химической точки зрения, что важно для понимания общих для различных представителей микроорганизмов биохимических эффектов, возникающих под воздействием излучения и приложения этих технологий в биотехнологических производственных процессах, в том числе фармацевтическом [7].

Ключевые слова: КВЧ-излучение, зоны исключения, протонная АТФ-синтаза, нативная агрегация, гидрофильная поверхность.

PHYSICO-CHEMICAL MECHANISMS TO EXTREMELY-HIGH-FREQUENCY OF RADIATION ON MICROORGANISMS

Kuznecov D. B.

Perm of state pharmaceutical academia, Perm, Russia (614077, Perm, street B. Gagarina, 72), e-mail: denis.pfa@gmail.com

Various authors provide different mechanisms of action of extremely high frequency radiation on living objects. There is no consensus on these things is not to this day. This paper reviews the scientific evidence on the impact of extremely high frequency radiation on microbiological objects and the views of various authors, in retrospect, and in the present, the mechanisms that take place in living matter. The analysis of scientific data can get rid of outdated notions and clarify the physical and chemical mechanisms of the extremely high frequency radiation. As in earlier works, and now a key element in the mechanism of action is the water as the primary acceptor. In later works, with the expansion of scientific and technical methods to show the mechanism from the chemical point of view, it is important to understand the common to the different representatives of microbial biochemical effects induced by radiation and the application of these technologies in the biotechnological production processes, including pharmaceutical [7].

Keywords: EHF-radiation, exclusion zone, proton ATP-synthase, native aggregation the hydrophilic surface.

Введение

Взаимодействие крайне высоких частот (КВЧ) с живыми организмами с давних пор привлекало внимание исследователей и практиков своими предполагаемыми, хотя и недостаточно изученными возможностями. КВЧ представляет диапазон миллиметровых радиоволн (1 ... 10 мм), который является пограничным между инфракрасным и радиоизлучением. С изобретением источников излучения с 60-х годов XX века начались планомерные исследования, показывающие необычные эффекты миллиметрового диапазона на живые организмы, особенно в период, когда нарушено их нормальное функционирование [5].

Попытки объяснения механизмов биологического воздействия КВЧ излучения с привычных позиций, в первую очередь с точки зрения выделения тепла, ни к чему не

привели. Мощность источников излучения была настолько мала, что заставляло предполагать их нетепловой характер. Еще одним вопросом было то, что излучение КВЧ диапазона практически не проникает в глубь питательных сред микроорганизмов (при проникновении всего на несколько сотен микрометров плотность потока мощности снижается приблизительно на порядок). Другим вопросом является то, что монохроматические излучения рассматриваемого диапазона не встречаются в окружающей среде, т.к. не проходят сквозь атмосферу.

Ранние описания механизмов КВЧ воздействия на биологические объекты

Первой работой, в которой был поставлен вопрос о создании единой общей картины, сопоставлении и определении взаимосвязи многочисленных фактов была монография Н. Д. Девяткова [5]. В работе интерпретация механизмов приводятся на основе аналогий с радиоэлектроникой, таким образом, молекулярные механизмы, протекающие в живых организмах под воздействием КВЧ-излучения, оставлены в стороне.

Авторами предполагалось, что ключевой ролью в механизмах воздействия рассматриваемого диапазона излучения является его участие в информационных процессах внутри организма и тому были предпосылки. Во-первых, энергия квантов меньше энергии теплового движения молекул, во-вторых, энергия квантов КВЧ излучения составляет 1,24 мэВ, что на два порядка меньше энергии водородной связи, следовательно, привести к их разрыву может только очень мощный поток излучения. Изменение определенного биологического параметра (например, некоторой конкретной ферментативной активности) после воздействия на организм КВЧ проявляется лишь в узких полосах воздействующих на него частот, составляющих нередко $10^{-3} \dots 10^{-4}$ средней частоты, т.е. имеет место так называемый острорезонансный эффект действия [8, 10, 15]. Установлено, что эффект облучения зависит от исходного состояния облучаемых организмов, а результаты воздействия КВЧ могут иметь пролонгированный характер [9, 13]. Для описания этих явлений была выдвинута гипотеза, что «ЭМИ – не случайный для живых организмов фактор, что подобные сигналы вырабатываются и используются в определенных целях самим организмом, а внешнее облучение лишь имитирует вырабатываемые организмом сигналы». КВЧ, проникая в организм на определенных частотах, трансформируются в информационные сигналы, осуществляющие управление и регулирование восстановительными или приспособительными процессами в организме. Предполагается, что передающаяся информация организму дискретным спектром частот излучения, воздействующего на организм, принимает это излучение многочастотные резонансные структуры, а частоты, на которые реагирует организм, это собственные резонансные частоты этих структур, результатом которого может являться формирование белковых агрегатов и

конгломератов, связанных с резонансными и внутриклеточными структурами. Пролонгированный эффект связан с тем, что достроенные или недостроенные структуры, образованные в процессе облучения, могут сохраняться длительное время, при этом в процессе деления клеток они передаются дочерним клеткам [5]. Действие ЭМИ может содействовать генным перестройкам, связанным с изменением положения мобильных генов в геноме, определять изменение характера прикрепления дезоксирибонуклеиновых кислот к мембране и ее ассоциации с молекулами белков, липидов и микроэлементов [1]. Помимо резкорезонансного эффекта имеет место нерезонансное, в частности конвективное движение жидкости [2, 6]. Девятков Н. Д. считает, что это существенным образом влияет на процессы мембранного транспорта за счет изменения примембранных слоев воды.

Современное представление о механизмах воздействия КВЧ диапазона на микроорганизмы

Последние исследования в области приповерхностной воды убедительно показали, что ЭМИ может не только поглощаться, но и аккумулироваться в виде структурных перестроек на гидрофильных поверхностях, причем толщина слоя из диполей может достигать до 500 мкм. При этом сами слои приповерхностной воды резко отличаются от объемной воды. Данные исследований показали, что «зоны исключения» (ЗИ) приповерхностной воды являются более упорядоченной фазой, чем основная масса воды с местным разделением зарядов между ЗИ и районами за их пределами [21, 22]. Показано, что под действием излучения ЗИ могут глубоко расширяться в обратной зависимости от длины волны, а энергия падающего излучения может быть сохранена в воде как энтропия потерь и разделения зарядов [15]. Известными отличительными свойствами воды ЗИ от объемной воды являются следующие: Молекулы ЗИ – более связанные; Молекулы ЗИ – более устойчивые; ЗИ имеет отрицательный заряд; ЗИ – более вязкая; Молекулы ЗИ – ориентированы; ЗИ может расти или деградировать под воздействием различных длин волн ЭМИ; Энергия ЭМИ может аккумулироваться в ЗИ [23].

Главным в понимании процессов образования ЗИ под воздействием ЭМИ является то, что чем больше поглощается энергии излучения системой, тем больше толщина ЗИ. Известно, что КВЧ диапазон очень сильно поглощается молекулами воды, в отличие от других длин волн. Важным в понимании является то, что поверхностью для строительства ЗИ могут являться белки, преимущественно вторичной структуры (α -спирали и β -листы), ДНК, РНК, мембраны. В процессе образования ЗИ электроны идут на образование диполь-дипольных связей, создаются отрицательно заряженные участки, которые легко могут проводить электрическое возбуждение и исключают из себя протоны, увеличивая концентрацию протонов и ионов H_3O^+ за пределами ЗИ. Подавляющее большинство молекул

АТФ образуется протонными АТФ-синтазами (F_0F_1 -АТФ-синтаза), являющимися самыми маленькими из известных наноразмерных электромоторов природного происхождения [11].

Первый закон биоэнергетики гласит, что живая клетка избегает прямого использования внешних ресурсов для совершения полезной работы. Она сначала превращает их в одну из трех конвертируемых форм энергии («энергетических валют»), а именно: в АТФ, $\Delta\mu_n^+$ или $\Delta\mu_{Na^+}$ [12]. В данном случае при воздействии КВЧ излучения энергия запасается в виде избыточных протонов в объемной воде, которые в дальнейшем идут на синтез АТФ. Третий закон биоэнергетики гласит: «Энергетические валюты» клетки могут превращаться одна в другую. Поэтому получения хотя бы одной из них за счет внешних ресурсов достаточно для поддержания жизнедеятельности. Этот механизм является общим для всех живых существ.

Подавляющее большинство энергоёмких биологических процессов, таких как реакция биосинтеза, перенос различных молекул через биологические мембраны, белковое (мышечное) сокращение и др., сопряжено с энергодонорной реакцией гидролиза АТФ, в результате которой образуется АДФ и неорганический фосфат.

Реакция гидролиза АТФ ($ATP + H_2O \rightarrow ADP + P_i$) сопровождается выделением энергии, которая может быть использована для совершения полезной работы [11].

Однако различные микроорганизмы показывают различные реакции на один и тот же тип излучения. В первую очередь это связано с тем, что захваченная энергия излучения также идет на нативную агрегацию белковых молекул. Согласно взглядам В. В. Матвеева [19], нативная агрегация является обратимой высокоспецифичной агрегацией белков, находится под генетическим контролем (запрограммированная агрегация) и производит временные структуры. Специфичность взаимодействий полипептидных цепей друг с другом (на внутри- и межмолекулярном уровнях) обеспечивают вторичные структуры, к которым в первую очередь относятся α -спирали и β -листы [19].

В клетке под действием излучения помимо усиленного роста ЗИ образуются временные структуры [7], которые несут сигнальную функцию. Источником энергии для образования сигнальных структур выступает $\Delta\mu_n^+$. Первопричиной любых функциональных изменений в клетке является появление в результате нативной агрегации сигнальных структур, непрерывно возникающих и распадающихся в процессе ее жизнедеятельности.

Сигнальные структуры могут быть центрами связывания ионов, молекул и белков; обладать ферментативной активностью; образовывать каналы и межклеточные контакты; служить матрицей, организующей взаимодействие молекул в синтетических и транспортных процессах; могут служить рецепторами сигнальных молекул и являться основой для построения еще более сложных надмолекулярных структур. Эти структуры «вспыхивают» в пространстве клетки подобно сигнальным огням, выполняют свою роль и исчезают, чтобы

появится вновь в другом месте и в другое время. Смысл существования структурных «вспышек» в том, что при переходе в активное состояние клетке необходимы новые ресурсы, функции, механизмы, регуляторы и сигналы. Как только клетка переходит в состояние покоя, необходимость в этих структурах исчезает, и они разбираются.

Помимо этого преимущественное большинство полярных молекул в живом организме находится на высоком энергетическом уровне [3], за счет этого при малом воздействии внешнего или внутреннего раздражителя возбуждение перемещается по специфическим путям, структуру которых определяет гидрофильные поверхности (белковый матрикс и мембраны клетки). КВЧ-излучение влияет на кинетическую энергию вращения полярных молекул и соответственно на движение возбуждения по слоям пограничной воды. Состояние макромолекул может синхронизироваться как в микрообъемах, так и в объеме всей клетки. Вода в клетке и в модельных системах более упорядочена, чем объемная [17], поэтому встраивание молекулы растворенного вещества в растворитель с более жесткими связями энергетически невыгодно, и они вытесняются из системы. Выстроенные слои из адсорбированной воды могут служить путями транспортировки возбуждения от рецептора к рабочему биополимеру.

Несмотря на все разнообразие белков, все они имеют абсолютно одинаковый полипептидный остов, различия между белками обусловлены лишь боковыми цепями. Полипептидный остов всех белков представляет собой правильное чередование положительных (NH) и отрицательных (CO) зарядов пептидных связей, причем расстояние между этими группами оказывается соизмеримым с размером молекул воды и длиной водородных связей между ними. Иначе говоря, расположение указанных диполей вдоль полипептидного остова оказывается в структурном отношении комплементарным структуре воды. Другая особенность групп пептидной связи состоит в том, что они образуют водородные связи либо друг с другом (во вторичных структурах), либо с водой (развернутые участки полипептидной цепи) [14].

Важное свойство дипольных молекул состоит в том, что их дипольный момент не является величиной постоянной, а зависит от их взаимодействий с другими дипольными молекулами [20].

Однако все начинает меняться, если развернутый полипептид, адсорбировавший воду, начинает сворачиваться с образованием вторичных структур. В этом процессе пептидные группы отказываются от водородных связей с водой и образуют их между собой. Прежде связанная вода десорбируется и приобретает свойства объемного растворителя [18].

Правомерность такого взгляда на взаимодействие гидрофильных поверхностей полимеров с водой получило убедительное экспериментальное подтверждение [21].

Наличие собственных резонансных частот у водных кластеров, лежащих в диапазоне частот примерно 50–70 ГГц. При облучении биологических объектов слабыми электромагнитными волнами на этих частотах приводит к захвату молекулярными водными осцилляторами (кластерами) частоты внешнего сигнала и усиление по типу синхронизированной генерации или регенеративного усиления. Волны возбуждения на этих частотах распространяются в водных средах с очень малыми потерями (почти как в случае давидовских солитонов) [4] и тем самым могут проникать на большую глубину облучаемого объекта, вовлекая глубинные структуры в процесс взаимодействия со слабым внешним сигналом. Таким образом, повышается чувствительность рецепторов и активность в клетке в целом.

Заключение

В настоящей работе рассмотрено современное представление о физико-химических механизмах воздействия КВЧ-излучения на микроорганизмы. Показано, что одним из главных звеньев является ускорение образования ЗИ воды, которые вытесняют из себя протоны, создавая таким образом разность электрохимических потенциалов ионов водорода ($\Delta\mu_{\text{H}^+}$) ЗИ. Поток протонов взаимодействует с АТФ-синтазой, результатом чего является синтез АТФ из АДФ и фосфата. Сами ЗИ являются высокоупорядоченными многослойными участками с отрицательным потенциалом. По ЗИ может легко протекать электронное возбуждение от рецептора до рабочей макромолекулы. Таким образом, КВЧ-излучение способствует повышению чувствительности к внешним и внутренним раздражителям и соответственно адаптации к факторам окружающей среды.

Список литературы

1. Бабаев Ю. М., Чиркова Э. М. Единство иммунологической и биоритмической индивидуальности живого организма как основа биологических схем для построения математических моделей иммуногенеза и работы биологических часов клетки. – М., 1985. – Препринт (Института Прикладной Математики АН СССР, № 49).
2. Влияние непрерывного миллиметрового излучения низкой интенсивности на транспорт ионов Na^+ в кожу лягушки / К. Д. Казаринов, В. С. Шаров, А. В. Путвинский, О. В. Бецкий // Биофизика. – 1984. – Т. XXIX, № 3. – С. 480-482.
3. Воейков В. Л. Ключевая роль устойчиво неравновесного состояния водных систем в биоэнергетике // Российский химический журнал (Журнал РХО им. Д. И. Менделеева). – Т. LIII, № 6. – 2009. – С. 41-49.
4. Давыдов А. С. Солитоны в молекулярных системах. – Киев: Наук. Думка, 1984.

5. Девятков Н. Д., Голант М. Б., Бецкий О. В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. – М.: Радио и связь, 1991. – 168 с.
6. Конвективный перенос растворенных в воде веществ как возможный механизм ускорения мембранных процессов под действием излучения / О. В. Бецкий, К. Д. Казаринов, А. В. Путвинский, В. С. Шаров // Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты: Сб. статей / Под ред. Н. Д. Девяткова. – М.: ИРЭ АН СССР, 1983. – С. 97–114.
7. Кузнецов Д. Б. Перспективы применения электромагнитных излучений крайне высокой частоты малой мощности в фармации // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 10 (ч. 2). – С. 400-404.
8. Научная сессия отделения общей физики и астрономии АН СССР (17–18 января 1973 г.) // Успехи физических наук. – 1973. – Т. 110, вып. 3. – С. 456 – 460.
9. Некоторые вопросы методики и результаты экспериментального исследования воздействий СВЧ на микроорганизмы и животных / Э. Б. Базанова, А. К. Брюхова, Р. Л. Виленская и др. // Успехи физических наук. – 1973. – Т. 110, вып. 3. – С. 455-456.
10. Резонансный характер воздействий радиоволн миллиметрового диапазона на биологические системы / Севастьянова Л. А., Бородкина А. Г., Зубенкова Э. С. и др. // Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты: Сб. статей / Под ред. Н. Д. Девяткова. – М.: ИРЭ АН СССР, 1983. – С. 34-37.
11. Романовский Ю. М., Тихонов А. Н. Молекулярные преобразователи энергии живой клетки. Протонная АТФ-синтаза – вращающийся молекулярный мотор. – УФН 180 931–956 (2010).
12. Скулачев В. П. Законы биоэнергетики // Соросовский образовательный журнал. – 1997. № 1.
13. Тамбиев А. Х., Кирикова Н. Н., Бецкий О. В., Гуляев Ю. В. Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы. – М.: Радиотехника, 2003.
14. Финкельштейн А. В., Птицын О. Б. Физика белка. – М.: Книжный дом Университет, 2005. – 456 с.
15. Chai B., Yoo H., Pollack G. H. Effect of radiant energy on near-surface water. J Phys Chem B 113(42):13953-13958. – 2009.
16. Grundler W., Keilmann F. Sharp Resonances in Yeast Growth Prove Nont-thermal Sensitivity in Microwaves // Phys. Rev. Letters. – 1983. – Vol. 51, N 13. – P. 1214 – 1216.
17. Ling GN. A convergence of experimental and theoretical breakthroughs affirms the PM theory of dynamically structured cell water at the theory's 40th birthday. In: Water and the Cell (Pollack, G. H., Cameron, I. L. and Wheatley, D. N., eds.). – Springer Verlag, Berlin; New York, 2006. – P. 1–52.

18. Ling G. N. Nano-protoplasm: the ultimate unit of life // *Physiol. Chem. Phys. Med. NMR.* – 2007. – 39 (2). – P. 111-234.
19. Matveev V. V. Native aggregation as a cause of origin of temporary cellular structures needed for all forms of cellular activity, signaling and transformations // *Theoretical Biology and Medical Modelling.* – 2010.
20. Spackman M. A., Munshi P., Dittrich B. Dipole moment enhancement in molecular crystals from X-ray diffraction data // *Chemphyschem.* – 2007. – 8(14). – P. 2051-2063.
21. Zheng J. M., Chin W. C., Khijniak E., Khijniak E. Jr., Pollack G. H. Surfaces and interfacial water: evidence that hydrophilic surfaces have long-range impact // *Adv Colloid Interface Sci.* 2006. – 127 (1). – P. 19-27.
22. Zheng and Pollack *Water and the Cell: Solute exclusion and potential distribution near hydrophilic surfaces.* – Springer: Netherlands, 2006. – P. 165–174.
23. Zheng et al. *Colloid Interface Sci.* – 2006. – 127. – 19.

Рецензенты:

Ростова Наталья Борисовна, доктор фармацевтических наук, профессор, профессор ГБОУ ВПО Пермская государственная фармацевтическая академия Росздрава, г. Пермь.

Гейн Владимир Леонидович, доктор фармацевтических наук, профессор, заведующий кафедрой физколлоидной химии, ГБОУ ВПО Пермская государственная фармацевтическая академия Росздрава, г. Пермь.