

Н.Д.ДЕВЯТКОВ
М.Б.ГОЛАНТ
О.В.БЕЦКИЙ

Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности



Москва
«Радио и связь»
1991

Девятков Н. Д., Голант М. Б., Бецкий О. В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. — М.: Радио и связь, 1991. — 168 с.: ил. — ISBN 5-256-00766-1.

Описаны явления, вызываемые действием электромагнитных излучений миллиметрового диапазона волн малой (нетепловой) интенсивности на живые организмы. Анализируются вопросы генерации клетками когерентных акустоэлектрических и электромагнитных волн (с частотами, соответствующими миллиметровому диапазону волн), используемых организмами для управления процессами восстановления нарушенных функций или приспособления к изменившимся условиям существования. Обсуждаются структурные изменения в клетках, сопровождающие процессы возбуждения в них колебаний. Рассмотрены методы экспериментального выявления и изучения генерируемых клетками слабых когерентных сигналов, основанные на использовании взаимной и внешней синхронизации этих сигналов. Излагаются данные о процессах, связанных с выполнением мембранными структурами функций управления внутриклеточными процессами межклеточного взаимодействия. Эти данные увязываются с большими возможностями, открывающимися практическим применением КВЧ-излучений в медицине и биологии. Высказываются соображения об общеприкладном значении анализируемых процессов. Приводятся примеры медико-биологического использования рассматриваемых явлений.

Для научных работников: физиков, биофизиков, биохимиков, биологов, медиков, специалистов в области радиофизики.

Табл. 2 Ил. 45 Библиогр. 171 назв.

Рецензенты: доктор мед. наук Л. Н. Гончарова, доктор физ.-мат. наук Н. И. Силицын, доктор техн. наук Л. Г. Гассанов

Редакция литературы по электронике

Научное издание

**Девятков Николай Дмитриевич,
Голант Михаил Борисович,
Бецкий Олег Владимирович**

МИЛЛИМЕТРОВЫЕ ВОЛНЫ И ИХ РОЛЬ В ПРОЦЕССАХ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Заведующий редакцией Ю. Н. Рысев
Редактор Н. Н. Кузнецова
Обложка художника А. А. Кущенко
Художественный редактор Н. С. Шенин
Технический редактор Л. А. Горшкова
Корректор Т. В. Дземидонич

ИБ № 2397

Сдано в набор 27.12.90

Формат 60×90^{1/16}

Печать высокая

Уч. изд. л. 12,62

Заказ № 13

Бумага тип. № 1

Усл. печ. л. 10,5

Тираж 4000 экз.

Цена 3 р. 50 к.

Издательство «Радио и связь», 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Подписано в печать 29.04.91

Гарнитура литературная

Усл. кр.-отг. 10,88

Изд. № 23298

Типография издательства «Радио и связь», 101000 Москва, ул. Кирова, д. 40

Д 2302020000-076
046(01)-91 36-91

ISBN 5-256-00766-1

© Девятков Н. Д., Голант М. Б.,
Бецкий О. В., 1991.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Взаимодействие электромагнитных волн с живыми организмами с давних пор привлекало внимание исследователей и практиков своими предполагаемыми, хотя и недостаточно изученными возможностями. Особый интерес с этой точки зрения представлял диапазон миллиметровых радиоволн (1... 10 мм), который долгое время оставался наименее освоенным участком спектра электромагнитных излучений (ЭМИ). Однако возможности электроникой техники позволили приступить к планомерным исследованиям лишь в 60—70 годах нашего столетия, когда были созданы и начали промышленно выпускаться вакуумные и полупроводниковые генераторы и другая необходимая аппаратура, перекрывшие это «белое пятно» спектра.

Внимание ученых привлекла необычная эффективность действия излучений миллиметрового диапазона («крайне высоких частот» — КВЧ) на живые организмы в периоды, когда нарушено их нормальное функционирование. Выяснилась также возможность использования таких излучений для повышения сопротивляемости организма к воздействиям неблагоприятных факторов. Возможности медико-биологического действия КВЧ-излучений оказались очень широкими. Прошло более 10 лет с тех пор, как в Советском Союзе начали применять КВЧ-методы при лечении язв желудка и 12-перстной кишки, трофических язв, травм мягких и костных тканей, стенокардии, гипертонии, некоторых онкологических и других заболеваний. Область использования КВЧ-методов быстро расширяется.

Каковы же механизмы биологических воздействий миллиметровых излучений? Попытки подойти к этой проблеме с привычных позиций, объяснить происходящие процессы в первую очередь выделением тепла ни к чему не привели. Интенсивность КВЧ-колебаний, при которой наблюдались значимые эффекты, была весьма низкой, что заставляло предполагать их нетепловой характер. Необычными были и закономерности, наблюдавшиеся медиками и биологами: существование острых максимумов физиологического отклика при изменении частоты колебаний, наминавших резонансные эффекты, хорошо изученные в современной радиофизике.

Лишь постепенно многочисленные эксперименты и теоретические оценки позволили наметить пути объяснения происходящих явлений. Результаты этих исследований нашли отражение

в сотнях отечественных и зарубежных публикаций. Однако до настоящего времени они не создают единой общей картины, оставляют необъясненными многие принципиально важные обстоятельства, а иногда и противоречат друг другу. Назрела необходимость в сопоставлении и определении взаимосвязи многочисленных фактов, требующих пересмотра существующих представлений.

Предлагаемая вниманию читателей монография является первой на этом пути. В ней последовательно излагаются факты, позволившие установить роль когерентных КВЧ-излучений как фактора, обеспечивающего сохранение или восстановление гомеостаза (совокупности приспособительных реакций живого организма). Описываются процессы восприятия с помощью КВЧ-излучений разнообразной информации о нарушениях, возникших в организме, и процессы их устранения. Обсуждаются проблемы применения КВЧ-излучений низкой интенсивности в медицине.

Следует отметить не только оригинальность книги и аргументаций, используемых ее авторами, но и родственность описываемых явлений тем, которые изучаются в радиофизике и радиоэлектронике. Вместе с тем эти явления оказываются специфичными вследствие того, что разыгрываются в таких необычных для этих наук объектах, как живые организмы.

Авторы монографии, начавшие заниматься исследованиями в этом направлении еще в первой половине 60-х годов, являются пионерами этой области науки. Ими заложены основы, они же возглавляют важнейшие работы и в настоящее время. Таким образом, читатели получают информацию из «первых рук». Несмотря на сложность рассматриваемых вопросов, авторы излагают материал достаточно наглядно и убедительно не только для научных работников, но и для практиков.

Поскольку работа посвящена быстро развивающейся области науки, она не может не носить дискуссионного характера. Не исключено, что у внимательного и требовательного читателя возникнут не только вопросы, но и сомнения, связанные с подходами, которые использовались авторами при интерпретации экспериментальных материалов. Аналогии с радиоэлектроникой, используемые и развиваемые в книге, могут восприниматься как чрезмерно упрощенные, хотя они и создают единственную в настоящее время, логически связанную систему модельных представлений. Некоторые стороны явлений оставлены авторами в стороне. Недостаточно проанализированы сходные явления, наблюдаемые при биомедицинских воздействиях лазерного излучения в оптическом диапазоне длин волн и т. п. Однако можно не сомневаться, что эта книга вызовет интерес у широкого круга специалистов. Она послужит стимулятором новых поисков и размышлений и сыграет важную роль в научном и прикладном развитии КВЧ-биомедицины.

Профессор, доктор технических наук И. В. ЛЕБЕДЕВ

ВВЕДЕНИЕ

Более 20 лет активно проводятся исследования влияния на живые организмы высокоупорядоченных (когерентных) [141] излучений малой интенсивности (нередко называемой нетепловой, так как нагрев тканей при этом не превышает $0,1^{\circ}\text{C}$) диапазона частот 30 ... 300 ГГц. Данный диапазон часто соответствует миллиметровому диапазону длин электромагнитных волн в вакууме. Ниже такие излучения для краткости будут обозначаться ЭМИ или КВЧ-излучениями.

В технике понятие о КВЧ обычно используется применительно к электромагнитным колебаниям и волнам. Но в живых организмах в указанном диапазоне частот генерируются не только электромагнитные, но и акустические и акустоэлектрические колебания и волны; все эти типы колебаний трансформируются друг в друга. Поэтому представляется целесообразным использовать в книге данный термин (КВЧ) применительно ко всем упомянутым колебаниям и волнам, уточняя лишь типы колебаний и частоты, о которых идет речь в каждом конкретном случае. Понятие «миллиметровые волны», строго говоря, применимо лишь к электромагнитным волнам до их проникновения в организм или в другие среды с большим значением относительной диэлектрической проницаемости ϵ (в средах с большим ϵ длина волны сокращается в $\sqrt{\epsilon}$ раз). Но поскольку к этому понятию многие привыкли, то решено было сохранить его в заглавии и в тексте — там, где это не может вызвать недоразумений.

Эти исследования позволили глубже понять, чем определяется способность живых организмов адекватно отвечать на непрерывные изменения условий существования, приспособлявая к ним свое функционирование, какова система управления бесчисленными восстановительными и приспособительными процессами, отражающимися в многообразии движений и изменений, совершающихся даже в одиночной клетке, не говоря уже об астрономической сложности реакций многоклеточных организмов. Результаты этих исследований показали, каким образом в ничтожном объеме одной клетки может разместиться система управления, обеспечивающая в этих условиях сохранение гомеостаза, и каким образом координируется действие множества таких систем в многоклеточных организмах. Стала понятной важная роль, которую играют физические и радиофизические процессы в регулировании жизнедеятельности. А это, в свою очередь, позволило осуществить широкое практическое использование ЭМИ в медицине и биологии.

Чтобы дать представление о практической направленности проводившихся исследований, отметим, что еще по данным обзора [3] ЭМИ на разных резонансных частотах успешно применяют-

ся для лечения таких заболеваний, как язвы, травмы, офтальмологические заболевания, остеохондропатия головки бедренной кости у детей, для стимуляции костномозгового кроветворения, для регулирования ферментативной активности микроорганизмов и во многих других случаях. Круг областей применения быстро расширяется, захватывая такие области, как сердечно-сосудистые заболевания, онкология, иммунология и др. Как сам феномен действия ЭМИ на организм, так и природа исключительно широкого спектра биологического действия требовали серьезного изучения.

Первые из упоминаемых в литературе публикаций по действию ЭМИ на живые организмы датируются 1966 годом [1, 2]. Однако до настоящего времени, несмотря на все более широкое признание специалистами высокой эффективности действия ЭМИ на любые живые организмы (от бактерий до человека) и рациональности их использования в практической медицине и биологии, монографии, в которых достаточно полно излагались бы обоснования природы и характера этого действия, в литературе не публиковались. Помимо многочисленных статей и обзоров, можно упомянуть только популярные брошюры [132, 136].

Понимание действия ЭМИ на живые организмы опирается на анализ вопросов, являющихся предметом изучения ученых, работающих в разных областях науки: физике, электродинамике сверхвысоких частот (СВЧ), электронике СВЧ, кибернетике, биофизике, биологии и др. Но основной круг представлений связан с радиофизикой. Поэтому, задавшись целью в какой-то мере восполнить имеющийся в литературе пробел, авторы, излагая в логической последовательности разнообразные стороны проблемы воздействия ЭМИ на организмы, в первую очередь останавливаются на ее радиофизических аспектах. В то же время авторы стремились сделать работу доступной для чтения не только радиофизикам и биофизикам, но и заинтересованным в проблеме биологам и медикам, особенно при формулировании биологически значимых положений. В некоторых случаях для повышения наглядности анализ вопросов сопровождается аналогиями.

Стремление авторов по возможности упростить изложение наталкивалось на трудности, определяемые необходимостью описания непривычных явлений и закономерностей, природа которых не может быть понята без утверждения и обоснования качественно новых представлений, относящихся к тому же к разным областям знаний.

Ввести читателя в круг этих представлений можно, вероятно, только постепенно, переходя от изложения первоначально установленных экспериментальных фактов и обобщающих их закономерностей к объясняющим эти закономерности гипотезам относительно природы наблюдаемых явлений, затем к описанию прямых экспериментов, направленных как на подтверждение высказанных гипотез, так и на расширение и углубление представлений об особенностях действия ЭМИ на живые организмы, а от

них к анализу механизмов такого действия. Конечными этапами на этом пути являются количественные оценки некоторых параметров, как генерируемых самими организмами когерентных колебаний рассматриваемого диапазона частот, так и происходящих в них под действием ЭМИ процессов, и, наконец, обсуждение вопросов, связанных с практическим использованием КВЧ-излучений в медицине и биологии.

Постепенное расширение и углубление понятий, относящихся к широкому кругу взаимосвязанных явлений, безусловно, содействует восприятию новых представлений (что в данном случае особенно важно), но при этом приходится мириться с частичным повторением некоторых ключевых моментов, позволяющих в ходе чтения не возвращаться к ранее изложенным материалам.

ГЛАВА 1

ХАРАКТЕР ВЛИЯНИЯ ЭМИ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО УСТАНОВЛЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ГИПОТЕЗЫ, ВЫДВИНУТЫЕ ДЛЯ ИХ ОБЪЯСНЕНИЯ

1.1. НАЧАЛО ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1.1. ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

На первый взгляд может показаться странным, что в первой половине 60-х годов, когда в медицине и биологии господствовали представления о тепловой природе воздействий на живые организмы любых неионизирующих электромагнитных излучений [4], были поставлены работы по изучению влияния на организмы излучений не только неионизирующих, но и малоинтенсивных — излучений нетеплового уровня мощности, да к тому же в диапазоне КВЧ, в котором, как это было достоверно известно, волны практически не проникают в глубь тела животных и в глубь питательных сред микроорганизмов (при проникновении всего на несколько сотен микрометров плотность потока мощности снижается приблизительно на порядок). Было неожиданным и то, что данные исследования инициировались специалистами в области радиоэлектроники.

Тем не менее для начала таких исследований были серьезные основания. Дело в том, что в 60-х годах в нашей стране уже полным ходом шли работы по освоению крайне- и гипервысокочастотных диапазонов (см. ГОСТ 2475—80), завершившиеся в конце 60-х годов перекрытием миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов простыми и удобными в эксплуатации генераторами малой мощности — лампами обратной волны [5, 6]. Это была первая в мире серия генераторов, решившая вопрос о ликвидации последнего «белого пятна» в спектре когерентных электромагнитных колебаний. Авторами [7] были проанализированы специфические особенности и обусловленные ими принципиальные трудности, препятствовавшие более раннему освоению указанного диапазона. В ходе исследований, естественно, возник вопрос: не могут ли необычные свойства крайне- и гипервысокочастотных диапазонов обусловить новые, нетрадиционные области их использования? Размышления же над данным вопросом привели к мыс-

ли о необходимости постановки исследований по действию излучений — в первую очередь миллиметровых волн — на живые организмы.

Действительно, монохроматические (одночастотные) излучения рассматриваемого диапазона в окружающей природе отсутствуют; сквозь атмосферу они практически не проходят. Учитывая, что живые организмы используют все внешние факторы, которые могут оказаться полезными для их жизнедеятельности, нельзя было исключить, что они приспособились и к использованию отмеченного выше обстоятельства. Этот очень высокочастотный диапазон может быть использован для обработки большого объема информации. Энергия квантов данного диапазона hf^* , с одной стороны, меньше энергии теплового движения атомов и молекул kT^{**} , а с другой — много меньше энергии даже слабых водородных связей в живых организмах, составляющей 10^{-13} эрг, и может привести к их разрыву лишь при многоквантовых процессах. Отсутствие повреждающего действия на организм в совокупности с большой информационной емкостью может благоприятствовать использованию рассматриваемых диапазонов волн живыми организмами для связи и управления, причем при невысоком уровне мощности управляющих сигналов.

Впрочем, на первом этапе развития работ эти и другие далеко идущие соображения особенно не подчеркивались: не было каких-либо фактических данных, которые могли бы их подтвердить или опровергнуть. К тому же могло случиться, что эти соображения окажутся верными для микроорганизмов, но ошибочными для животных, или наоборот. При всех обстоятельствах начинать нужно было с экспериментов, причем ввиду полного отсутствия достоверных данных — с экспериментов достаточно разнообразных, охватывающих живые организмы самой разной сложности организации.

1.1.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Поскольку в данной работе речь пойдет лишь о радиофизических аспектах действия излучений КВЧ-диапазона на живые организмы, вряд ли имеет смысл загромождать текст подробным описанием разнообразных не поддающихся на начальном этапе исследований научной систематизации биологических экспериментов и их результатов. Ограничимся лишь кратким изложением результатов нескольких описанных в [8, 9] первых экспериментов, главным образом для того, чтобы дать представление о характере наблюдаемых явлений.

В ходе этих экспериментов было, в частности, установлено [8, 9], что, воздействуя ЭМИ в окрестности длины волны 6,5 мм в

* h — постоянная Планка, f — частота; hf в крайне- и гипервысокочастотных диапазонах изменяется от $2 \cdot 10^{-18}$ до $2 \cdot 10^{-14}$ эрг.

** k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура; kT при комнатной температуре составляет $4 \cdot 10^{-14}$ эрг.

течение 2 ч при плотности потока мощности около 5 мкВт/см^2 на кишечную палочку, можно изменить в 2...3 раза процент микроорганизмов, выделяющих белок колицин; воздействуя десятикратно (по 2 ч ежедневно) на суспензию в воде спорового гриба аспергилла в окрестности волны 6,4 мм, удавалось повысить его фибринолитическую активность в 2...2,5 раза; воздействуя семикратно (также по 2 ч ежедневно) в окрестности волны 6,0 мм при той же плотности потока мощности на дрожжеподобный гриб эндоминопсис, используемый в качестве продуцента амилалитических ферментов, добивались увеличения амилалитической активности культуры на 50 %; воздействуя однократно в течение 1 ч в окрестности волны 7,1 мм при плотности потока мощности 10 мВт/см^2 на поверхность кожи мышей, удавалось существенно (в 2...3 раза) снизить последующее токсическое (вредное, отравляющее) действие рентгеновского облучения или химиотерапевтических препаратов на костномозговое кроветворение животных.

Общим впечатлением, создавшимся у экспериментаторов после проведения первых экспериментальных работ, было впечатление о возможности получения желательных для практического использования эффектов при воздействии на любые живые (но только живые!) организмы, если эффекты, получения которых добиваются облучением, находятся в пределах возможностей данного вида. Нужно было лишь затратить достаточно усилий для подбора оптимальных частот, достаточных интенсивностей потока, длительности и числа сеансов воздействия.

Однако важно было не просто добиться тех или иных интересных или необычных биологических эффектов, а установить принципиальные особенности действия ЭМИ на живые организмы, для чего должна была быть обеспечена высокая воспроизводимость результатов экспериментов. А обеспечить воспроизводимость результатов на первых порах было трудно. Это говорило о том, что, идя в постановке экспериментов от общепринятых приемов, экспериментаторы не учитывают и поэтому не соблюдают каких-то условий, специфичных для изучаемых явлений. На выяснение этих условий пришлось затратить много времени [16, 25, 90], но в результате удалось достигнуть высокой воспроизводимости результатов и малого разброса наблюдаемых эффектов по сравнению с количественными характеристиками самих эффектов, что обеспечило достоверность получаемых данных уже при ограниченном числе опытов. Вначале же приходилось подтверждать достоверность многократными повторениями экспериментов.

11.3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЛНАМИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НА МИКРООРГАНИЗМЫ И ЖИВОТНЫХ

Установки для проведения лабораторных экспериментов должны обеспечивать регулировку в широких пределах всех основных параметров излучения (частоты и мощности колебаний, характе-

ра их модуляции, степени их стабильности и т. п.) и максимально точный их контроль. При этом, учитывая возможность значительных отражений от питательных сред микроорганизмов или тканей животных, необходимо предусматривать устранение этих отражений (согласование) с помощью регулируемых согласователей-трансформаторов. В тех случаях, когда это возможно, а именно в случае экспериментов с микроорганизмами, опыты следует проводить с тонкими слоями питательной среды, обеспечивающими относительно небольшие (определяемые влиянием изменения уровня мощности на биологический эффект) активные потери в среде — толщина слоя среды, как правило, не должна превышать 500 мкм. В опытах с микроорганизмами можно также обеспечить измерение параметров как на входе в облучаемый объем, так и на выходе из него, что и выполняется. К сожалению, в экспериментах с животными такой контроль невозможен (вся падающая мощность поглощается в теле животного), и соответствующие приборы для выходного контроля отсутствуют.

Структурная схема одной из типичных лабораторных установок для воздействия ЭМИ на живые организмы представлена на рис. 1.1 [10]. Для экспериментов, осуществляемых с модуляцией частоты колебаний или мощности излучения (см. § 2.1), такая установка дополняется модуляторами. Относительная сложность

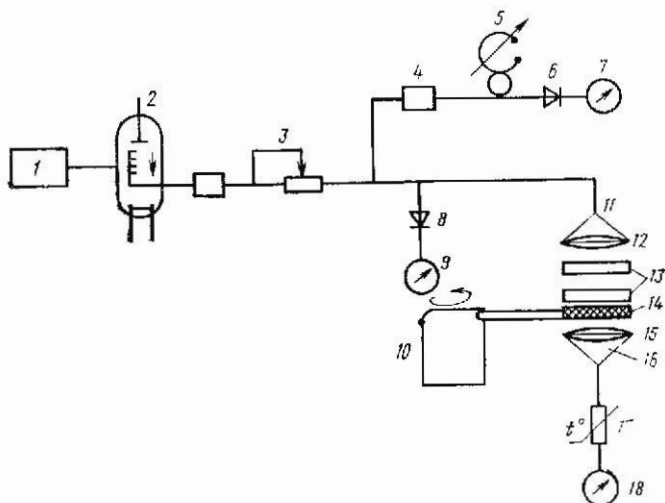


Рис. 1.1. Схематическое изображение установки для воздействия ЭМИ на живые организмы:

1 — блок питания; 2 — лампа обратной волны; 3 — ослабитель; 4 — измерительная линия; 5 — волномер; 6, 8 — детекторные головки; 7 — стрелочный прибор; 9 — измеритель мощности падающего излучения; 10 — электромотор, вращающий и перемешивающий среду (в некоторых экспериментах с микроорганизмами); 11, 16 — рупоры; 12, 15 — корректирующие липзы; 13 — трансформатор; 14 — объект; 17 — термисторная головка; 18 — измеритель мощности проходящего излучения (в экспериментах с животными элементы 10—17 не используются [10]).

установок и высокая точность используемых в них приборов подразумевают наличие регулярного технического контроля.

В заключение заметим, что процесс создания экспериментальных установок был длительным: для их создания нужно было определить точность поддержания и измерения параметров излучения, а эта точность не могла быть установлена сама по себе — она определяется данными экспериментов, достоверность которых, в свою очередь, определяется параметрами установок. Поэтому процесс создания прошел через ряд последовательных приближений.

1.2. ПРИРОДА ОСТРОРЕЗОНАНСНОГО ДЕЙСТВИЯ ЭМИ НА УСТРАНЕНИЕ ИЛИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ НАРУШЕНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

1.2.1. СПЕЦИФИКА ОСТРОРЕЗОНАНСНОГО ВЛИЯНИЯ ЭМИ НА ОРГАНИЗМЫ

В § 1.1 уже говорилось о биологической действенности ЭМИ. Однако внимание исследователей привлекла в первую очередь не сама по себе действенность, а специфический характер действия [11]. В чем же заключается эта специфика? Какие ее основные черты?

Во-первых, необходимо отметить общность для всех организмов (от микроорганизмов до млекопитающих) основных закономерностей воздействия на них ЭМИ, говорящая о том, что ЭМИ влияют на некоторые универсальные процессы, регулирующие жизнедеятельность.

Во-вторых, биологические эффекты не связаны ни с нагревом (никакой нагрев обычными методами не мог вызвать биологических эффектов, аналогичных наблюдаемым [12]), ни с радиационным разрушением тканей, как в случае действия ионизирующих излучений.

В-третьих, не могла не привлечь внимания очень высокая для биологии воспроизводимость результатов экспериментов: как уже отмечалось, при правильной постановке и строгом воспроизведении условий эксперимента, при переходе от одного экземпляра организма к другому того же вида разброс параметров, характеризующих эффект действия ЭМИ, много меньше значений этих параметров [13, 14].

Наконец, упомянем еще одну, не только интересную в научном плане, но и важную с точки зрения практических применений особенность действия ЭМИ на живые организмы: его специфически «лечебный» характер [15]. При надлежащем выборе соответствующих характеру заболевания частот колебаний ЭМИ могут активно влиять на больной организм до тех пор, пока он не восстановится, содействовать этому восстановлению.

После восстановления организма дальнейшее его облучение ЭМИ той же частоты становится как бы недейственным: харак-

тер текущего функционирования перестает изменяться. Однако облучение ЭМИ на определенных частотах может подготовить организм к последующим неблагоприятным воздействиям, например к побочным действиям лечебных химических препаратов или ионизирующей радиации, — сделать организм менее восприимчивым к ним.

Приспособление к последующим неблагоприятным воздействиям можно уподобить эффекту, даваемому тренировкой, но осуществляемой за короткое время. Эффект тренировки в результате облучения ЭМИ здорового организма, проявляющийся при последующем действии неблагоприятного фактора, говорит о том, что упомянутое отсутствие реакции здорового организма на облучение является кажущимся: просто неизменность текущего функционирования не является исчерпывающим показателем произошедших изменений.

Данные многочисленных исследований позволили предположить, что выбором рабочих частот (спектра частот) ЭМИ можно добиться благоприятного влияния на ход излечения многих болезней, с которыми данный вид организмов в принципе может бороться. Воздействие ЭМИ усиливает и ускоряет борьбу с заболеванием, мобилизуя для этого собственные резервы организма в той мере, в которой возраст и различные факторы, нарушающие нормальную жизнедеятельность, не исчерпали этих резервов [19].

Качественно (необратимо) изменить организм (как, например, при воздействии ионизирующих излучений) с помощью ЭМИ не удастся, но можно отрегулировать его функционирование в пределах, присущих данному биологическому виду, и процесс регулирования носит не случайный, а воспроизводимый характер.

1.2.2. ВАЖНЕЙШИЕ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО УСТАНОВЛЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДЕЙСТВИЯ ЭМИ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ

Целесообразно остановиться на некоторых основных общих закономерностях, характеризующих реакцию организма на ЭМИ.

Дополнив и уточнив разобранное в предшествующем подразделе специфические особенности действия ЭМИ, кратко перечислим следующие закономерности, характеризующие это действие:

1. На реакцию организмов на ЭМИ, определяемую по некоторому биологическому параметру, не влияет изменение в широких пределах плотности потока мощности: начиная от некоторого наименьшего (порогового) значения плотности потока мощности и до ее значений, уже вызывающих заметный (превышающий $0,1^\circ$) нагрев тканей, биологический эффект действия ЭМИ сохраняется практически неизменным [13, 14, 16] (рис. 1.2). В некоторых случаях, относящихся к облучению микроорганизмов, определяемый по некоторому биологическому параметру эффект не изменяется при изменении плотности потока до 10^5 раз.

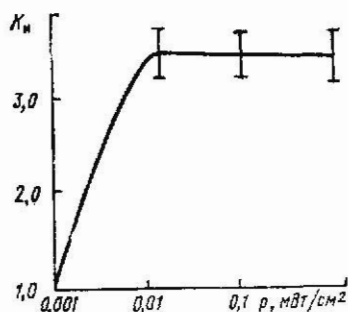


Рис. 1.2. Зависимость коэффициента индукции K_n синтеза колицина от плотности потока мощности p ЭМИ [13]

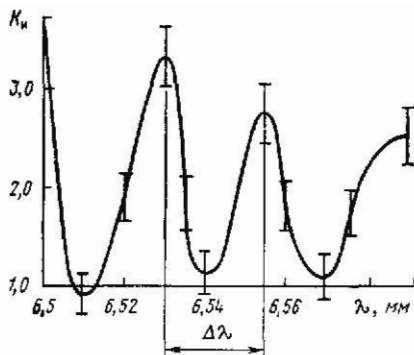


Рис. 1.3. Зависимость коэффициента индукции K_n синтеза колицина от длины волны λ ЭМИ [13]

2. Изменение определенного биологического параметра (например, некоторой конкретной ферментативной активности) после воздействия на организм ЭМИ проявляется лишь в узких полосах реально действующих на него частот (подробнее см. подпараграф § 1.6), составляющих нередко $10^{-3} \dots 10^{-4}$ средней частоты; данное явление получило название острорезонансного эффекта действия. Таких полос, чередующихся с полосами, в которых сколько-нибудь существенного изменения этого параметра не наблюдается, может быть довольно много [13, 14, 17] (рис. 1.3). В последующих главах будет также показано, в каких случаях и по каким причинам наблюдаемый эффект теряет резонансный характер или ширина резонансных полос существенно возрастает.

3. Характер острорезонансного биологического действия зависит от частоты колебаний: одни резонансные частоты влияют в большей степени на одни стороны биологической активности, другие — на другие. На разных резонансных частотах, зафиксированных по одной биологической реакции, характер изменения другой реакции может быть существенно отличным от первой (подробнее см. § 2.1).

4. Эффект облучения зависит от исходного состояния облучаемых организмов.

5. Результаты воздействия ЭМИ могут запоминаться организмами на длительное время, но для этого необходимо и достаточно длительное (не менее получаса), нередко многократное воздействие ЭМИ [10].

6. Наконец, упомянем, что для животных биологический эффект действия ЭМИ не связан с непосредственным воздействием энергии, падающей извне на поверхность тела, на орган (или систему), определяющий функцию, изменившуюся под влиянием ЭМИ. Расстояние от места, на которое падает излучение, до соответствующих органов или систем может превышать в сотни и тысячи раз расстояние, на котором плотность потока мощности

из-за потерь в тканях снижается на порядок. В то же время действительность облучения ЭМИ разных участков поверхности тела оказывается неодинаковой. По экспериментальным данным [18], действия ЭМИ могут реализоваться, в частности, при облучении *точек акупунктуры*¹, что подтвердило ранее высказанное авторами положение [19].

1.2.3. ОСНОВНЫЕ ГИПОТЕЗЫ О СУЩНОСТИ ОСТРОРЕЗОНАНСНОГО ВЛИЯНИЯ ЭМИ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ И ФАКТЫ, ЛЕЖАЩИЕ В ИХ ОСНОВЕ

Очень малая энергия, необходимая для оказания существенного влияния ЭМИ на функционирование организмов, специфика этого влияния, высокая воспроизводимость результатов — все наталкивало исследователей на гипотезу [19, 20, 21], 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.*

Впервые этот вопрос был достаточно подробно проанализирован в [19, 20]; впоследствии, после накопления большого числа разнообразных фактов, подтверждающих выводы [19, 20], они были обобщены в [22]. Суть второй гипотезы, сформулированной на основе проведенного анализа, вкратце заключается в следующем. Наблюдаемые закономерности действия на живые организмы монохроматических электромагнитных излучений миллиметрового диапазона волн нетепловой интенсивности объясняются тем, что, *проникая в организм, эти излучения на определенных (резонансных) частотах трансформируются в информационные сигналы, осуществляющие управление и регулирование восстановительными или приспособительными процессами в организме*².

Перечислим некоторые важнейшие факты, положенные в основу этих гипотез:

1. Минимальная мощность потока, облучающего организм, необходимая для того, чтобы вызвать значительный биологический эффект, ничтожно мала по сравнению с тепловой мощностью, отдаваемой самим организмом во внешнее пространство. Например, для человека и животных эта мощность имеет порядок 1 ... 10 мВт и составляет приблизительно 10^{-3} ... 10^{-4} тепловой мощности, отдаваемой во внешнее пространство организмом человека [10, 13, 23]. Плотность потока ЭМИ, как уже отмечалось, такова,

¹ Точки акупунктуры — это точки поверхности тела, соответствующие биологически активному действию иглоукалывания при рефлексотерапии.

² Ниже выражения «информационные сигналы», «информационная функция» подразумевают сигналы, роль которых в организме заключается в управлении происходящими в нем восстановительными и приспособительными процессами. И те, и другие процессы в настоящее время объединяются общим термином «адаптивный рост» [72]. В общем случае информационные системы — это системы обработки информации и формирования сигналов управления.

что не вызывает даже местного нагрева тканей выше $0,1^{\circ}$. При любых других способах теплового воздействия такой нагрев не вызывает явлений, подобных наблюдаемым при воздействии ЭМИ [12]. Тем более облучение ЭМИ не может вызвать каких-либо нарушений в тканях, ибо кванты его на два порядка меньше энергии слабых водородных связей. Таким образом, значительно энергетического действия облучение ЭМИ не оказывает.

В то же время мощность поступающего извне излучения вполне достаточна для формирования сигналов управления, энергия которых в любых информационных системах (в том числе в детально описанных системах, используемых в технике) на несколько порядков меньше энергии системы в целом, определяемой мощностью исполнительных органов или устройств.

2. Как уже отмечалось в § 1.1, действие КВЧ-излучения, определяемое по некоторому биологическому параметру, не зависит от его интенсивности в широких пределах [13, 14, 16]. Такой характер зависимости действия от интенсивности действующего фактора закономерен для информационных систем и определяется спецификой процесса управления. Дело в том, что интенсивность может изменяться под влиянием разных факторов, не имеющих отношения к управляемым процессам (изменения в параметрах линий передачи, приемников и пр.), и, если бы управляющее действие зависело от этих изменений, сигналы управления становились бы неадекватными условиям работы управляемых систем. В случае энергетических воздействий (эффект действия которых определяется энергией) такой характер зависимости, по-видимому, не встречается.

3. Упомянутый в подпараграфе 1.2.2 пороговый характер зависимости биологического эффекта от интенсивности облучения [13, 14, 16] является необходимым условием работы информационных систем, при невыполнении которого их работа постоянно нарушалась бы внешними наводками и шумами. Пороговый характер действия может иметь место и при энергетических (определяемых энергией действующего фактора) воздействиях, но в этом случае, в отличие от информационных воздействий, дальнейшее повышение мощности изменяет биологический эффект.

4. Характер биологического отклика организма зависит от частоты реально воздействующих на него волн, причем каждое конкретное действие имеет место лишь в узких полосах частот¹. На других частотах это действие может не иметь места, а может иметь место качественно или количественно отличное действие (в том числе полное отсутствие какого-либо действия [13, 14, 24]). Иными словами, частоты колебаний определяют характер действия рассматриваемых излучений на организм, т. е. частота является носителем информации.

¹ Вопросы, связанные с понятием о частоте реально воздействующих на организм КВЧ-излучений, разобраны в подпараграфе 2.1.6.

5. Резонансные частоты, на которых имеют место определенные биологические эффекты, строго воспроизводимы при воспроизведении условий эксперимента [25]. Такая четкая зависимость действия от количественного значения информационного признака (которым в данном случае является частота колебаний) характерна для информационных систем, предназначенных для обработки большого объема информации.

6. Изложенные в п. 2—5 особенности всегда проявляются совместно. При этом если имеет место независимость определяемого по некоторому биологическому параметру эффекта от мощности ЭМИ, то наблюдается и резонансная зависимость от частоты колебаний [13, 14, 16, 26]. Таким образом, речь идет не о случайном наборе фактов, а об их глубокой взаимосвязи, определяемой специфическими закономерностями работы информационных систем.

7. Информационная основа наблюдаемых явлений хорошо объясняет причину того, что изменения живых тканей, возникающие в результате облучения, не наблюдаются в случае, если ткани облучаются после прекращения жизнедеятельности: в неживых тканях системы управления не работают [15].

8. Как уже отмечалось в подпараграфе 1.2.2, действие ЭМИ решающим образом зависит от исходного состояния организма. Так, если в исходном состоянии некоторая функция организма ослаблена по сравнению с нормой в несколько раз, то облучением ее можно поднять приблизительно в то же число раз, в то время как на текущее функционирование здорового организма то же самое облучение практически не действует [24, 27] (подробнее см. гл. 2 и 3). И это понятно, так как одной из важнейших функций информационных сигналов в организме является поддержание гомеостаза. (Гомеостаз — способность биологических систем противостоять изменениям и сохранять относительное постоянство состава и свойств.)

9. То, что при воздействии ЭМИ на организмы достаточно большого размера действие этого облучения может сказаться на органах, удаление которых от места облучения исключает прямой энергетический эффект [28, 29, 30, 31], с точки зрения изложенной гипотезы естественно: в единой информационной системе живого организма сигналы, периодически усиливаемые за счет энергии метаболизма (обмена веществ), могут распространяться по каналам связи на большие расстояния. Усиление слабых сигналов не требует больших затрат энергии и совместимо с энергетическими возможностями организма.

10. Живые организмы в естественных условиях не подвергаются действию монохроматических электромагнитных излучений миллиметрового диапазона волн, поскольку в окружающей среде они отсутствуют. Каким же образом все организмы от бактерий до человека в ходе эволюции выработали специфическую (зависящую от частоты колебаний) реакцию на эти излучения (см., например, [13, 14, 16])? Информационной гипотезе данный факт не противоречит, так как согласно этой гипотезе эффективность дей-

ствия внешних монохроматических излучений объясняется тем, что, проникая в организм, они трансформируются в сигналы, подобные информационным сигналам, вырабатываемым самим организмом для регуляции процесса своего восстановления или приспособления к изменению условий существования. Наличие таких же излучений в окружающей среде нарушало бы работу информационной системы организма, внося помехи. Поэтому использование во внутренней информационной системе сигналов управления, в которые присутствующие в окружающей среде излучения преобразоваться не могут, биологически целесообразно.

11. С точки зрения обоснования информационной природы действия ЭМИ на живые организмы немаловажно то, что информативность и информационная ценность энергии (отношение количества обрабатываемой информации к энергетическим затратам на ее обработку) для миллиметрового диапазона исключительно высоки, в частности, существенно превышают у живых организмов значения указанных параметров для оптического или СВЧ-диапазонов (см. § 3.2).

12. Строение различных живых организмов, начиная от бактерий и кончая человеком, на функционирование которых ЭМИ могут оказать воздействие, совершенно различно. Даже у одного и того же вида облучением можно добиться изменения самых разных функций. Например, в [23] описаны влияния ЭМИ на лечение разнообразных болезней человека и на регуляцию функционирования микроорганизмов. Нельзя себе представить, чтобы у всего многообразия изменений, наблюдаемых при облучении различных и одинаковых организмов, механизм реализации этих изменений был общим. В то же время изложенные выше соображения, приписывающие наблюдаемые закономерности действия ЭМИ информационной функции этого действия, объясняют поставленный вопрос совершенно естественно: общие закономерности работы информационных систем (а только о них по существу и шла до сих пор речь) должны выполняться, какие бы механизмы не приводили в действие сигналы управления.

1.3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ДЕЙСТВИЙ ЭМИ. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ДЕЙСТВИЯ ЭМИ

1.3.1. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ ОРГАНИЗМА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭМИ

Тот факт, что изменение определенного биологического параметра под влиянием ЭМИ в широких пределах не зависит от плотности потока мощности (см. рис. 1.2), легко может создать впечатление, что управляющие действия ЭМИ вообще не связаны с затратами энергии. Но такой вывод был бы ошибочным: первое, что указывает на связь управляющих действий с энергией облучения, является наличие энергетического порога действия (см. рис. 1.2) — минимального уровня мощности, ниже которого ЭМИ

не приводят к каким-либо биологическим эффектам, сохраняющимся после прекращения облучения. Следовательно, для передачи организму информации, заключенной в спектре ЭМИ (см. подпараграф 1.2.3), необходима определенная энергия. Чем же она определяется и почему изменение этой энергии выше порогового уровня не влияет на биологический эффект? К ответу на этот вопрос, как уже отмечалось выше, можно подходить постепенно, рассматривая на протяжении ряда глав различные аспекты вопроса, анализируя экспериментальные данные и производя количественные оценки. Здесь же ограничимся энергетической стороной вопроса, которая может быть обсуждена на основе достаточного общих представлений о происходящих процессах.

Поскольку в соответствии с проведенным в § 1.2 обсуждением определенная информация передается организму дискретным спектром частот излучения, воздействующего на организм, рационально предположить, что принимают это излучение многочастотные резонансные структуры. А частоты, на которые реагирует организм, это собственные резонансные частоты этих структур. Но резонансных частот, как видно, например, из рис. 1.3 и других, приведенных в гл. 2, много, и чтобы зафиксировать определенный, сохраняющийся после прекращения облучения эффект, нужно, чтобы во время облучения в резонансных структурах произошли определенные изменения, выделяющие в дальнейшем частоты, на которых производилось облучение в период, когда колебания генерируются уже только самим организмом.

Из электродинамики КВЧ известно, что выделение предпочтительных условий для возбуждения определенных резонансных частот в многочастотной резонансной структуре может быть обеспечено созданием некоторых систем активных и пассивных элементов. В дальнейшем будем называть их подструктурами. Как будет показано ниже с привлечением результатов морфологических исследований, образование таких подструктур в клетках определяется, по всей вероятности, формированием в них белковых агрегатов и конгломератов, связанных с резонансными внутриклеточными структурами. Но для выяснения характера зависимости биологического эффекта от мощности ЭМИ существенно лишь то, что элементы подструктур могут создаваться постепенно, из отдельных молекул или иных субъединиц, входящих в упомянутые агрегаты, причем смещение субъединиц в клетке может происходить под действием возбужденного в клетках переменного поля. А характер распределения поля в тех или иных структурах будет зависеть от частоты колебаний, в рассматриваемом случае определяемой частотой облучения ЭМИ.

Чтобы создаваемые при воздействии ЭМИ подструктуры были устойчивыми в условиях наличия дезорганизующего броуновского движения, поле должно иметь амплитуду, не меньшую некоторой минимальной величины, а длительность облучения должна быть достаточной для их организации. В то же время возрастание амплитуды этих полей характера образующейся подструктуры (и, как

будет показано в гл. 3, биологических последствий ее появления) не изменит, а лишь несколько ускорит процесс ее образования. Возможно, после того как формирование подструктур при воздействии внешнего облучения достигает некоторого минимального уровня, необходимого для возбуждения определенных частот колебаний в организме, последний сам достраивает их до оптимальных (с точки зрения обеспечения нужных характеристик управляющих сигналов) размеров. Наблюдалось, например, что в ряде случаев максимальное влияние облучения на функционирование организма наблюдается не сразу после облучения, а по прошествии определенного времени (до нескольких суток).

В технике подструктуры, обеспечивающие возбуждение генератора с многочастотной резонансной системой на определенной частоте (на определенном виде собственных колебаний системы), используются достаточно широко. Например, в многорезонаторных магнетронах [52] используются связки, дополнительные резонаторы. Но специфика биологических систем, о которых идет речь в настоящей работе, заключается в том, что в них подструктуры, фиксирующие определенный вид собственных колебаний мембраны (см. гл. 3), строятся под влиянием КВЧ-сигнала. Без построения подструктур, разных для различных видов собственных колебаний, в клетках не могли бы на длительное время (после прекращения действия ЭМИ) устанавливаться режимы функционирования, определяемые распределением переменных полей при возбуждении соответствующего вида колебаний и определяющие характер протекания процессов, адекватный специфике нарушений, устраняемых с помощью ЭМИ. Процесс построения подструктур и их влияние на процессы в клетках будут обсуждены в последующих главах.

Первые на мысль о подструктурах, выделяющих определенные частоты собственных колебаний резонансных структур при генерации колебаний самим организмом, навели эксперименты по исследованию влияния на организм ЭМИ в импульсном режиме [61]. В экспериментах на организм воздействовали ЭМИ, импульсная мощность которых совпадала с мощностью, воздействующей на организм в непрерывном режиме. Длительность импульсов составляла $2 \cdot 10^{-3}$ с, отношение суммарной длительности импульса и паузы к длительности импульса равнялось шести.

Наблюдался биологический эффект. Прежде всего, было установлено, что характер биологического эффекта при импульсном и непрерывном режимах воздействия одинаков при одинаковой частоте ЭМИ. Это говорит о том, что структуры, определяющие резонансные частоты, для обоих режимов воздействия совпадают. Было, далее, установлено, что, несмотря на то, что средняя мощность в импульсном режиме была в несколько раз меньше пороговой для непрерывного режима, биологический эффект оставался таким же, как при непрерывном воздействии ЭМИ. Это говорит о том, что в паузах между импульсами режим колебаний в организме изменяется мало. В то же время при сокращении об-

шей длительности импульсного воздействия по сравнению с длительностью непрерывного никакого остаточного (сохраняющегося после окончания сеанса воздействия ЭМИ) биологического эффекта не наблюдалось. Это говорит о том, что, хотя возбужденные импульсами ЭМИ колебания в паузах между импульсами затухают незначительно, но подструктур, способных выделить определенные частоты колебаний, генерируемых самим организмом, при малой длительности воздействия еще не создается.

Из сказанного следует, что информационные действия ЭМИ на живые организмы связаны с созданием материальных структур, а элементы для формирования таких структур далеко не всегда имеются в наличии в нужной области организма (области, где формируется подструктура). Поэтому в ряде случаев облучение в течение одного часа и более не может привести к необходимому информационному действию. Появление дополнительных элементов, необходимых для достройки структуры, должно явиться результатом протекания процессов метаболизма (обмена веществ), а последние требуют времени. Это обстоятельство является, по всей вероятности, причиной того, что, как это отмечалось выше, во многих случаях для достижения определенного биологического действия необходимы многократные периодически повторяющиеся воздействия ЭМИ. Оптимальная периодичность повторения зависит от активности протекания в организме процессов метаболизма. Например, в пожилом возрасте интервалы между последовательными воздействиями должны возрастать. При этом подчеркнем, что речь здесь идет не о времени, необходимом для проявления результатов образования в организме новой подструктуры — этот процесс мог бы протекать и без дополнительных облучений (о нем речь пойдет ниже в подпараграфе 1.3.3), а о времени, необходимом для ее образования.

Важно также обратить внимание на то, что проведению многосеансных облучений не мешает процесс деления клеток, который может происходить между последовательными облучениями [27]. А это означает, что даже недостроенные подструктуры могут передаваться последующим поколениям и достраиваться ими. В [27] отмечается, что по данным проведенных экспериментов изменения характера функционирования клеток, связанных с перестройкой их информационных структур под воздействием ЭМИ, сохраняются в сотнях поколений (верхний предел еще не установлен). В [32] этот процесс увязывается с ролью мобильных (подвижных) генов [33, 71]. Вполне возможно, что действие ЭМИ может содействовать генным перестройкам, связанным с изменением положения мобильных генов в геноме: естественно предположить, что именно построение подструктур и их влияние на возбуждаемые в мембране акустоэлектрические волны (подробнее это будет разбираться в гл. 2) определяет изменение характера прикрепления дезоксирибонуклеиновых кислот (ДНК) к мембране и ее ассоциации с молекулами белков, липидов и микроэлементов [65], а вместе с тем и смещения подвижных генов. Измене-

ния в ДНК, в свою очередь, вызывают изменения в деятельности рибонуклеиновых кислот (РНК) по сборке белковых молекул. Проведение соответствующих исследований, вероятно, содействовало бы выяснению природы наблюдаемого влияния фенотипа на генотип [64] и причин наступления изменений в процессах сборки в клетках белковых молекул¹.

Упомянем также появившееся в [134] сообщение о наблюдении резонансов ДНК-спиралей в микроволновом диапазоне и о расчетной резонансной частоте третичной структуры ДНК-спирали на частотах вблизи 40 ГГц, где наблюдаются многочисленные биологические эффекты, связанные с воздействиями ЭМИ на живые организмы (некоторые из таких эффектов будут описаны в гл. 2). Поскольку ДНК прикрепляются к мембранам, последние могут служить антеннами, с помощью которых осуществляется возбуждение колебаний в ДНК (особенности мембран клеток, претерпевших те или иные изменения формы, будут подробно рассмотрены в последующих главах).

Таким образом, информация при облучении ЭМИ миллиметрового диапазона волн сообщается организму через посредство энергии этих волн, частоты которых (если уровень мощности превышает пороговый) определяют характер формируемых подструктур и спектр сигналов, генерируемых после прекращения облучения.

1.3.2. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ДЕЙСТВИЯ ЭМИ

Выше было разобрано, как ЭМИ, осуществляя на резонансных для живых организмов частотах энергетические (т. е. определяемые амплитудой и энергией излучения) процессы, приводят к появлению информационных биологических эффектов, не зависящих от мощности излучения в широком диапазоне изменения последней. Тот факт, что явления, имеющие информационную природу, порождаются энергетическими процессами, это не некоторый специфический для ЭМИ случай, а общая закономерность. Чтобы сделать ее более очевидной, приведем хотя и примитивный, но очень наглядный пример из обыденной жизни. Когда зажигается зеленый свет светофора, пешеход переходит дорогу. Зеленый сигнал оказывает информационное действие — путь свободен. Информация не изменит своего содержания, если лампочка будет менее яркой (но свет ее будет еще воспринимаем) или более яркой (но еще не будет слепить глаза). Энергия воспринимаемого светового потока не определяет энергии, затрачиваемой на движение через дорогу. Но если бы предметом исследования был энергетический процесс, происходящий в глазах, — выход биохимических реакций в светочувствительных элементах глаза, то были бы зарегистрированы закономерности, типичные для энергетических процессов —

¹ Фенотип — совокупность признаков и свойств особи, формирующихся в процессе взаимодействия генотипа с окружающей средой; генотип — наследственная основа организма.

эффект зависел бы от энергии. Таким образом, информационное действие сигнала порождено энергетическим.

Но раз имеет место такая закономерность, это означает, что, изучая действие ЭМИ на живые организмы, можно зафиксировать как информационные, так и энергетические эффекты — все зависит от того, что рассматривается в качестве теста — от критерия, по которому оценивается действие. Это и было в экспериментах, описанных в работе [12].

Из сказанного можно сделать принципиальный вывод — «нетепловой» характер ЭМИ сам по себе еще не является препятствием для проявления энергетических эффектов. Критерием для определения, каким является тот или иной эффект — информационным или энергетическим, является не мощность потока излучения и не степень нагрева тканей или сред, а характер зависимости биологического эффекта от плотности потока мощности и частоты волн. В частности, если зависимость от мощности отображается ступенчатым графиком, подобным изображенному на рис. 1.2, а зависимость от частоты имеет острорезонансный характер — эффект информационный. Если же зависимость от мощности отображается или логарифмическим законом (реакция на интенсивность света или звука в соответствии с законом Вебера — Хефнера), или прямо пропорциональна интенсивности (закон постоянства дозы, действующей в случае ионизирующих излучений), или другими подобными законами, причем острых частотных зависимостей не наблюдается, — эффект является энергетическим.

Во избежание недоразумений обратим внимание на то, что до последнего времени в литературе (в том числе и в работах авторов) отсутствовала достаточная четкость в разделении информационных и энергетических явлений; обычно подразумевалось, что энергетические явления, по крайней мере в случае неионизирующих излучений, всегда сопряжены с изменением температуры более чем на $0,1^\circ\text{C}$.

Важно подчеркнуть, что информационные эффекты могут выявляться и при существенных уровнях мощности (нередко называемых тепловыми, ибо они связаны с нагревом тканей более $0,1^\circ\text{C}$ [20]), но изучать их на этих уровнях нерационально, поскольку характер наблюдаемых явлений может искажаться сопутными тепловыми процессами [16].

Если немыслимы информационные эффекты без энергетических процессов, то энергетические эффекты могут и не сопровождаться информационными.

Действительно, даже при очень малых плотностях потоков энергии могут иметь место нерезонансные энергетические воздействия, в которых отсутствует информационный фактор (зависимость от частоты). В частности, в работах [34—38] было показано, что в случае водных растворов различных биологических жидкостей необходимо учитывать нерезонансное влияние ЭМИ на конвективное движение жидкости. Экспериментально конвекция

была обнаружена при пороговых значениях плотности потока мощности порядка $0,5 \dots 1$ мВт/см², причем во всех случаях не удалось зафиксировать локальных изменений температуры растворов при чувствительности методов измерения температуры не хуже $0,1^\circ\text{C}$. Конвекция возникает на границе раздела фаз (воздух — жидкость) за счет приповерхностного поглощения миллиметрового излучения и обусловлена изменением сил поверхностного натяжения на этой границе (термокапиллярный эффект). Экспериментально было показано, что конвекция в водном растворе может приводить не только к локальному перемешиванию в зоне действия излучения, но и ускорять газообмен раствора с воздухом.

Нерезонансные энергетические процессы могут влиять на резонансные процессы управления на КВЧ. Например, конвективное перемешивание водной среды может иметь важные последствия для биологических объектов, особенно в тех случаях, когда протекание каких-либо процессов в объекте лимитируется стадиями переноса веществ через заполненные водой области. Было обнаружено ускорение перекисного окисления липидов в липосомах¹ за счет влияния КВЧ-излучения на водорастворимые вещества, участвующие в реакции. Но наиболее существенным является экспериментально изученное [35, 36] влияние КВЧ-излучения на процессы мембранного транспорта², обусловленного конвекцией в примембранных слоях воды. А биологические мембраны и процессы мембранного транспорта обуславливают практически все функции клеток. Не останавливаясь на других нерезонансных процессах, вызываемых действием ЭМИ и влияющих на жизнедеятельность, и в частности на протекание резонансных явлений, лежащих в основе информационных процессов (подробнее эти вопросы изложены в [22]), отметим только, что это влияние необходимо учитывать как при постановке экспериментов, так и при практическом использовании ЭМИ в медицине и биологии.

1.3.3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, СВЯЗАННЫЕ С УПРАВЛЯЮЩИМИ ДЕЙСТВИЯМИ ЭМИ

С управляющим действием ЭМИ прямо или косвенно связан целый ряд существенно различных энергетических процессов. В подпараграфах 1.3.1 и 1.3.2 было обсуждено энергетическое обеспечение передачи организму информации при действии ЭМИ — энергетические процессы, определяющие скорость образования и характер образующихся подструктур. Действие же на организм когерентных волн, генерируемых в нем с использованием сформиро-

¹ Липиды — жироподобные вещества; липосомы — замкнутые сферические пузырьки, содержащие один или несколько слоев липидов, ограничивающих внутреннее водное пространство; перекисное окисление липидов — образование перекисных соединений, содержащих в молекуле непосредственно связанные между собой атомы кислорода.

² Мембранный транспорт — перенос молекул и ионов через мембрану.

рованных подструктур, — это управление энергетическими процессами в организме¹ (включая процессы построения или разрушения тканей), энергия которых может на несколько порядков превосходить энергию, потребовавшуюся для формирования подструктур. В этих энергетических процессах реализуются информационные действия ЭМИ. Необходимая для их протекания энергия обеспечивается процессами метаболизма. Процессы, которыми управляют генерируемые организмом когерентные волны, могут иметь различную природу — химическую, механическую и пр.; некоторые сведения о них будут достаточно подробно рассмотрены в следующих главах.

Существенно, что основным источником энергии для любых происходящих в организме энергетических процессов общий — это метаболизм. Процессами метаболизма обеспечивается и энергия, необходимая для генерации в организме управляющих сигналов, и регулировка амплитуды сигналов управления, и процесс образования подструктур, формируемых организмом для устранения возникших нарушений функционирования, и, конечно, работа исполнительных систем. Поэтому рациональное, выработанное в ходе эволюции взаимодействие всех систем и процессов в организме связано с соразмерностью реальных затрат энергии в каждом звене с необходимостью этих затрат и с выбором наиболее экономных механизмов обеспечения любых функций.

ГЛАВА 2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБОСНОВЫВАЮЩИЕ ГИПОТЕЗЫ О ПРИРОДЕ ДЕЙСТВИЯ КВЧ-ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОРГАНИЗМЫ. ВЕРОЯТНЫЙ МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ КЛЕТКАМИ КВЧ-КОЛЕБАНИЙ

2.1. ЭКСПЕРИМЕНТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ВЫДВИНУТЫЕ ГИПОТЕЗЫ О ПРИРОДЕ ДЕЙСТВИЯ ЭМИ; НАКОПЛЕНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ БИОФИЗИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ ЭМИ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ

2.1.1. ВЫБОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА И МЕТОДА ЕГО ИЗЛОЖЕНИЯ

Предшествующие главы были посвящены описанию того, как первые эксперименты по выявлению наличия и характера влияния ЭМИ на жизнедеятельность организмов позволили установить за-

¹ Энергетические процессы в организме — процессы, значение которых для организма связано с преобразованием энергии.

закономерности этого влияния и на базе последних сформулировать основные гипотезы, объясняющие его природу:

1. Действие когерентных КВЧ-излучений на живые организмы сводится к управлению происходящими в них процессами адаптивного роста (восстановительным процессам и процессами приспособления к изменяющимся условиям функционирования).

2. Эффективность острорезонансного действия на организм излучений, исходящих от внешних по отношению к нему источников когерентных колебаний, связана с тем, что эти излучения могут возбуждать в организме когерентные колебания, имитирующие сигналы, генерируемые в определенных условиях самими организмами. Вывод, аналогичный высказанному, содержится также в [21].

Однако переход от установленных общих закономерностей к этим выводам проходил вначале через непростые логические рассуждения. Вопрос о более прямых и более детально раскрывающих особенности явлений экспериментальных доказательствах высказанных гипотез продолжал сохранять остроту. Еще более важным было накопление данных экспериментов и исследований, позволяющих раскрыть биофизический механизм управления жизнедеятельностью с помощью когерентных волн рассматриваемого диапазона частот. Описанию соответствующих экспериментальных и теоретических работ и посвящена настоящая и следующая главы.

При обсуждении экспериментальных работ, позволяющих выяснить механизм действия ЭМИ на живые организмы, необходимо учесть специфическую особенность объекта исследования, связанную со сложностью его организации и многогранностью связей с внешней средой: воздействие на живой организм может привести ко многим различным изменениям в функционировании, а биологическими методами удастся одновременно зафиксировать лишь одно-два [39]; в то же время каждое отдельное изменение функционирования может быть вызвано разными отклонениями внутри организма или сдвигами во внешней среде. Поэтому объяснения причин, обусловивших результат конкретного эксперимента, часто не совпадают друг с другом, доказательностью обладает лишь показ возможности объяснения с единых позиций результатов многих принципиально отличающихся экспериментов, так как в этом случае найти какое-либо другое общее объяснение наблюдаемым фактам трудно, если вообще возможно.

Для удобства систематизации результатов, полученных в разнородных исследованиях, материал данной главы будет излагаться в форме ответов на конкретные поставленные вопросы, отвечающие изучаемой проблеме. Выбор описываемых экспериментов в каждом случае определяется обеспечиваемой ими полнотой ответа на поставленный вопрос.

Общность установленных закономерностей (см. гл. 1) позволяет при изложении материала использовать данные, полученные в опытах с различными организмами.

2.1.2. В КАКОЙ МЕРЕ ОСТРОРЕЗОНАНСНЫЙ ХАРАКТЕР ОТВЕТОВ ОРГАНИЗМОВ НА ДЕЙСТВИЕ ЭМИ МОЖЕТ ГОВОРИТЬ ОБ ИНФОРМАЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ЭТИХ ДЕЙСТВИЙ?

Для разностороннего управления функционированием организма необходимо много отличающихся друг от друга сигналов управления. Упомянутая выше острота резонансных ответов организма на облучение (узость частотных полос) — см., например, рис. 2.1, характеризующая первую из сформулированных в подпараграфе 1.2.2 закономерностей, содействует образованию на их основе большого числа различных спектров. Но для ответа на поставленный в заглавии вопрос необходимо было прежде всего убедиться, что реально существует большое число таких резонансных ответов. Приведенные на рис. 2.2 и 2.3 спектры действия [14, 17] — зависимости некоторого биологического параметра от частоты — подтвердили, что дело обстоит действительно так¹. Аналогичные зависимости были зафиксированы уже в работе [9] (см. рис. 1.3), только число выявленных резонансов было меньшим. При такой плотности размещения резонансных полос в диапазоне частот их комбинации в спектрах могут обеспечить огромное разнообразие сигналов. Но разносторонности управления это будет отвечать лишь при том условии, что каждой из этих полос соответствуют в чем-то различные друг от друга состояния организма. На вопрос о том, выполняется ли это последнее усло-

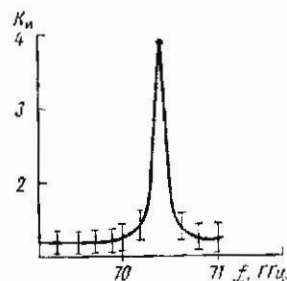


Рис. 2.1. Зависимость коэффициента индукции K_{λ} ламбда профага от частоты f воздействующего излучения [16]

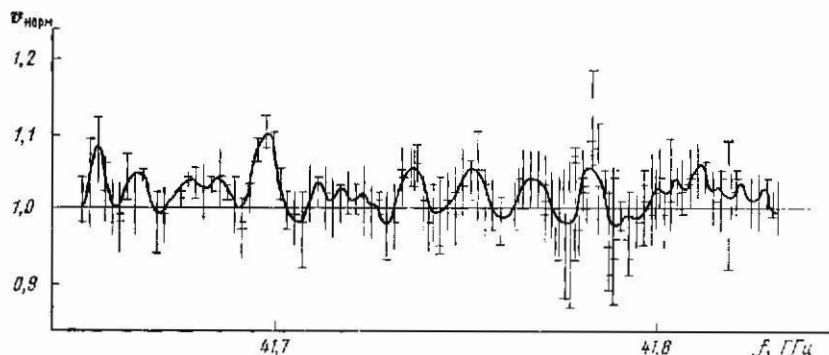


Рис. 2.2. Зависимость нормированной скорости $v_{\text{норм}}$ роста культуры дрожжей от частоты воздействующего излучения f [14]

¹ Отметим, что в [17] для нескольких резонансных кривых из числа показанных на рис. 2.3 приведено большее число экспериментальных точек, что позволяет составить представление не только о ширине полос, но и о форме этих резонансных кривых.

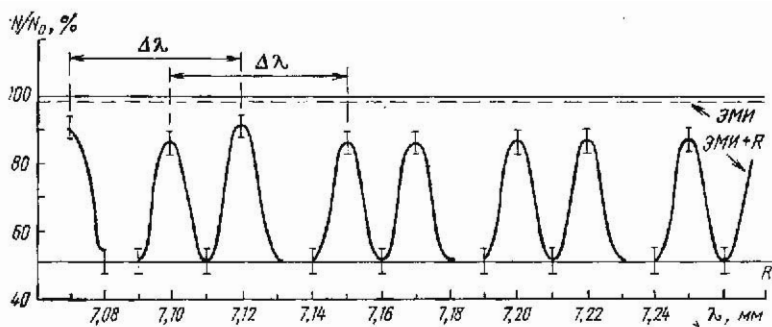


Рис. 2.3. Зависимость изменения от длины волны λ числа кариопитов N/N_0 у мышей после воздействия на них ЭМИ и последующего рентгеновского облучения [17]:

линия R — уровень отношения N/N_0 после рентгеновского облучения животных; линия $ЭМИ$ — уровень отношения N/N_0 после воздействия электромагнитным излучением. Этот уровень практически совпадает с исходным; линия $ЭМИ+R$ — отношение N/N_0 после рентгеновского облучения животных, предварительно облученных ЭМИ

вие, приведенные спектры действия ответа не дают. Они отражают зависимость от частоты лишь одного-единственного биологического параметра; характер изменения других параметров не определялся. Более того, биологическими методами получить ответ на этот вопрос невозможно в принципе, ибо, как уже отмечалось, полное обследование биологического объекта неприемлемо трудоемко, если вообще выполнимо [39].

Некоторый, но недостаточно полный ответ на этот вопрос дают эксперименты по выявлению частот воздействия, максимально интенсифицирующих разные процессы в организме [24]. Результаты одного из таких исследований изображены на рис. 2.4. Поскольку частоты, оптимальные с точки зрения достижения максимальных изменений произвольно выбранных параметров, обычно далеко разнесены друг от друга, то соответствующие опыты не могут дать ответа на вопрос о различиях в воздействиях на организм в близких резонансных полосах.

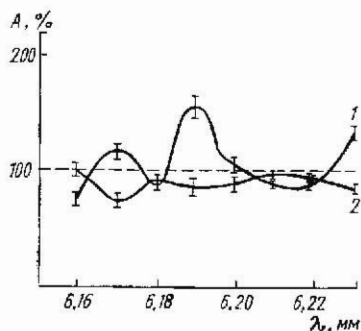


Рис. 2.4. Зависимость изменения (по отношению к контролю) активности A ферментов альфаамилазы (1) и глюкоамилазы (2) для *Aspergil awamory* от длины λ воздействующего излучения

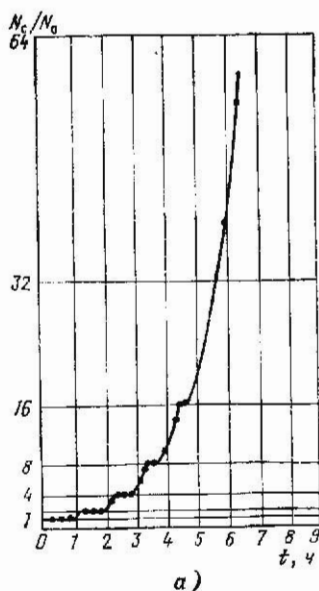
2.1.3. ОДИН ИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ ВЫЯВЛЕНИЯ СВЯЗИ ОБЩЕГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА С ЧАСТОТОЙ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА НЕГО ИЗВНЕ КВЧ-ИЗЛУЧЕНИЙ

Поскольку выявление всех произошедших в организме изменений порознь невозможно, был обоснован и экспериментально проработан иной подход к ответу на поставленный вопрос [81]. Существуют некоторые интегральные характеристики¹, на которые влияют все или почти все изменения, происходящие в клетках. Такой интегральной характеристикой является, в частности, длительность цикла развития клетки между последовательными делениями (в дальнейшем для краткости длительность цикла). В так называемых синхронных² клеточных культурах удается отобрать клетки с почти одинаковыми параметрами и обеспечить одновременность первых актов их деления. Но даже при самом строгом отборе синхронность деления клеток уже после нескольких циклов нарушается, и наступает переход к экспоненциальному росту числа клеток (см. рис. 2.5,а, относящийся к синхронному делению дрожжевых клеток *Saccharomices Carlsbergensis*).

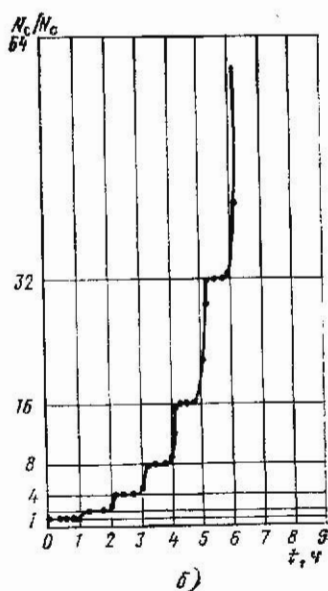
Было сделано предположение, что различие в длительности цикла связано с различием частот КВЧ-колебаний, генерируемых клетками. Действительно, после синхронизации этих колебаний в ходе относительно кратковременного (в разных условиях от нескольких десятков минут до двух часов) воздействия когерентным сигналом нетепловой интенсивности (плотность потока мощности $0,25 \text{ мВт/см}^2$) от внешнего источника КВЧ-излучений на волне 6,5 мм различие в длительности цикла для разных клеток практически устранялось, что отражалось в постоянстве длительности «ступенек» (рис. 2.5,б). В течение двух суток наблюдений постоянство длительности «ступенек» сохранялось без видимых изменений. Аналогичный (хотя и меньший по величине) эффект удается получить и за счет взаимной синхронизации колебаний в клетках, не прибегая к использованию внешнего облучателя. Для этого достаточно усилить излучение клеток. Как показано в [44, 54], усиления излучения можно добиться, в частности, внесением в клеточную суспензию длинноволокнистых молекул, играющих роль антенн (подробнее роль таких антенн будет разобрана в подпараграфе 2.2). При усиленном таким образом излучении клеток «короткие ступеньки» (соответствующие синхронизации 10 ... 15% клеток) сохраняются и тогда, когда в той же среде, только не содержащей длинноволокнистых молекул, синхронность

¹ Понятие об интегральных характеристиках используется в математической литературе, посвященной медицинской проблематике [133].

² Термин «синхронизация» имеет в биологии и радиофизике несколько различных смыслов. В биологии под синхронизацией подразумевается достижение совпадения фаз клеточного развития, в радиофизике — совпадение фаз и частот колебаний. В данной работе в разных случаях приходится использовать этот термин, то в одном, то в другом смысле, а изменять принятую и широко используемую в обеих науках терминологию нерационально. Просто придется это учесть при чтении.



а)



б)

Рис. 2.5. Временная зависимость $N_c/N_0(t)$ синхронного деления необлученных дрожжевых клеток (а) и клеток, подвергшихся воздействию КВЧ (б): N_c — текущее число клеток в суспензии; N_0 — исходное число клеток в суспензии (отношение $N_c/N_0=32$ соответствует 10^6 клеток/мм); t — время. (Ступеньки характеризуют циклы развития).

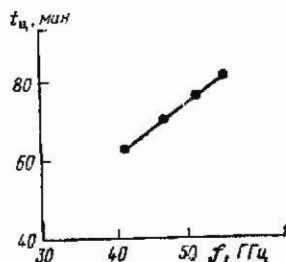
деления оказывается полностью нарушенной. На полную синхронность деления клеток в области «коротких ступенек» (полное уравнивание длительности циклов их деления) указывает также то, что эти «ступеньки» при последующих циклах деления уже не исчезают и не укорачиваются.

В то же время разные клетки (например, однотипные клетки разных животных) генерируют, по-видимому, в принципе различные, не поддающиеся взаимной синхронизации спектры частот. В [54], где описано взаимодействие эритроцитов, было установлено, что эффективно взаимодействуют (притягиваются друг к другу) лишь эритроциты одних и тех же животных; при этом они «находятся» друг друга даже в суспензии из клеток разных животных.

В ходе описанных выше экспериментов по синхронизации генерируемых клетками колебаний внешним КВЧ-сигналом была снята зависимость длительности цикла деления клеток от частоты внешнего синхронизирующего КВЧ-сигнала: длительность цикла оказалась пропорциональной этой частоте (рис. 2.6).

Сопоставление этого результата с результатами, отраженными спектрами действия (см. рис. 2.2 и 2.3), говорит о том, что наряду с резонансными зависимостями одного конкретного параметра от частоты, имеет место постепенное изменение с частотой

Рис. 2.6. Зависимость длительности цикла $t_{\text{ц}}$ развития дрожжевых клеток между последовательными делениями от частоты f действующего на них КВЧ-излучения



той совокупности других параметров, влияющих на длительность цикла. Это отражается в изменении интегральных характеристик. Следовательно, каждой из резонансных полос соответствуют чем-то отличные друг от друга изменения в организме (в рассмотренном случае — в клетке).

В то же время плавность изменения с частотой интегральной характеристики говорит в пользу того, что и отдельные параметры клетки при изменении частоты генерируемых ею колебаний меняются постепенно, так что можно ожидать, что на близких резонансных частотах организм в целом изменяется относительно мало.

Заметим также, что зависимости, подобные изображенной на рис. 2.6, позволяют по длительности цикла деления клеток после их взаимной синхронизации оценить частоту генерируемых ими колебаний. Однако точность такой оценки невелика. Методики более точного измерения частоты и спектра генерируемых клетками когерентных колебаний разрабатываются применительно к проблеме медицинской диагностики (см. § 3.4).

2.1.4. КАКИЕ СТРУКТУРЫ ОПРЕДЕЛЯЮТ ХАРАКТЕР ОТВЕТА ОРГАНИЗМА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭМИ?

Как уже отмечалось в гл. 1, большое число и регулярность линий в спектрах действия, изображенных на рис. 2.2 и 2.3, говорит о том, что КВЧ-излучение приводит к возбуждению многомодовых резонансных систем. Смещение $\Delta\lambda$ между соседними резонансами по длине волны в свободном пространстве и средняя длина волны λ в области, в которой снят спектр (см. рис. 1.3), позволяют определить число N длин волн в возбужденной резонансной системе $N = \lambda / \Delta\lambda$. При этом условии $\Delta\lambda$ соответствует изменению на единицу числа длин волн, укладывающихся в замкнутой резонансной системе, т. е. переходу к резонансу на виде колебаний, ближайшем к исходному. В проводимых с клетками кишечной палочки экспериментах [9] $N = 200$, а в экспериментах на клетках дрожжей [14] $N = 1500$.

Длина волны в системе по порядку величины должна равняться отношению периметра клетки (от одного до десятков микрометров) к указанной величине N , т. е. длина волны в возбужденной системе приблизительно в 10^6 раз короче длины волны в свободном пространстве [44]. А это, в свою очередь, говорит о том, что волны в многомодовой резонансной системе распространяются со скоростью звука (по порядку величины).

Таким образом, экспериментально установленный характер спектров действия говорит о том, что при воздействии электромагнитных излучений на клетки в них возбуждаются акустоэлектрические колебания [44] (см. также § 2.2). Характер спектров действия у млекопитающих (см. рис. 2.3) говорит о том, что эти спектры также связаны с резонансами в клетках.

Для возбуждения когерентными волнами колебаний необходимо, чтобы потери на распространение колебаний в резонансной системе были относительно невелики. Данному требованию удовлетворяют потери при распространении электрических сигналов рассматриваемого диапазона в липидной среде (затухание в десять раз на расстояниях порядка сантиметров [82]).

Такие расстояния очень велики по сравнению с любыми внутриклеточными размерами. Это наводит на мысль о том, что роль многомодовых резонансных систем могут играть липидные мембраны [46, 47]. Но мембраны окружены цитоплазмой — средой, представляющей собой водные растворы солей (в дальнейшем именуемой для краткости водной средой), характеризующиеся большими омическими потерями. Не делает ли это резонансное возбуждение мембран невозможным?

Исследования, описанные, в частности, в [48], показали, что гидрофобная (водоотталкивающая), обладающая малыми потерями, часть мембран отделена от гидрофильной части (непосредственно примыкающей к водной среде и смачиваемой водой) слоями, имеющими толщину около $10 \text{ \AA}$ (рис. 2.7). В то же время указанное выше замедление распространяющихся волн соответствует снижению на порядок плотности потока, распространяющегося по мембране переменного электрического поля, также на расстоянии около $10 \text{ \AA}$ [52]. Поэтому до водной среды доходит поле резко сниженной амплитуды, и активные потери в этой среде не

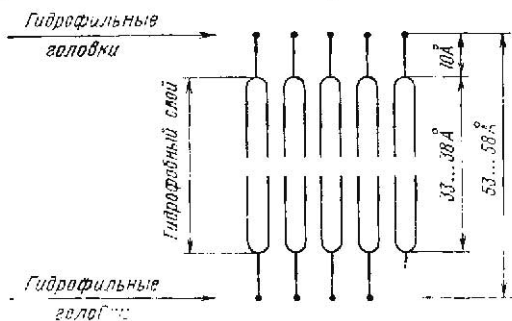


Рис. 2.7. Схематическое изображение структуры мембраны; размеры указаны для миелина

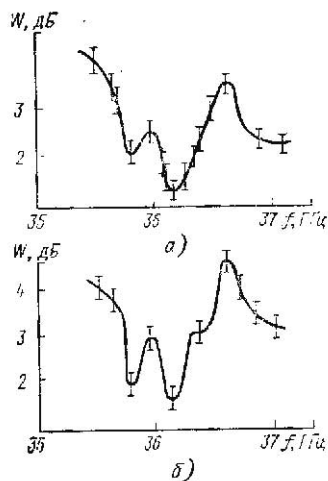


Рис. 2.8. Спектры поглощения $W(f)$ эритроцитов (а) и теней эритроцитов (б) [50]

препятствуют резонансному возбуждению колебаний в мембранах¹. Сделанные Н. П. Диденко оценки показывают, что ширина наблюдаемых при снятии спектров действия живых организмов резонансных полос может быть связана с потерями, определяемыми акустической компонентой акустоэлектрических колебаний (см. подпараграф 2.2.6). Аналогичная данной оценка содержится в [148].

Однако вопрос о потерях в мембранах и ширине резонансных полос требует продолжения исследований. В частности, принципиально нельзя априорно отождествлять резонансы, наблюдаемые при изучении спектров действия, с резонансами, имеющими место при возбуждении КВЧ-полями пассивных электродинамических структур. Различие заключается в том, что при экспериментальном изучении спектров действия дискретным выходным параметром является биологический эффект. Биологический эффект связан сложной нелинейной зависимостью с воздействующими на мембрану полями, а в сложной метаболической системе исходное действие поля может усиливаться. Это, в свою очередь, может приводить к фиксации даже слабых различий в действующем поле.

Заметим также, что при определенных условиях активные потери для волн, распространяющихся в мембранах, могут существенно возрасти вследствие нарушения нормальных условий функционирования клетки. В частности, это наблюдается после воздействия на организм ионизирующего излучения и отражается в нарушении резонансного характера действия ЭМИ и снижения четкости осуществляемого с их помощью управления функционированием.

Тем не менее описанные в [50] эксперименты по снятию спектров поглощения эритроцитов и их теней (т. е. мембран эритроцитов, освобожденных от цитоплазмы) показали, что спектры в обоих случаях очень близки (рис. 2.8). И это впрямую подтверждает то, что электромагнитные волны миллиметрового диапазона могут возбуждать колебания именно в мембранах, и позволяет увязывать наблюдаемые биологические эффекты действия КВЧ на клетки с резонансными частотами возбужденных колебаний.

2.1.5. КАКОВ ХАРАКТЕР ОБРАЗУЮЩИХСЯ В КЛЕТКАХ ПОДСТРУКТУР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЗАПОМИНАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ЭМИ, И КАКОВО ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ЭМИ НА ДИНАМИКУ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ?

В гл. 1 были высказаны соображения о том, что устойчивая генерация клетками колебаний некоторых определенных частот (из большого числа собственных резонансных частот мембран)

¹ Как будет показано в § 2.2. и 3.1, в возбуждении колебаний большую роль играют белковые молекулы. Поэтому существенно, что и их пространственная структура такова, что гидрофобные ядра молекул защищены от проникновения воды и отделены от нее достаточным расстоянием [41, 150].

становится возможной только в результате создания в них в период воздействия КВЧ-сигнала подструктур, определяющих преимущественные условия для возбуждения этих частот или, иными словами, условия для запоминания оказываемых воздействий.

Но представление о характере реальных подструктур, обеспечивающих запоминание, могут дать только морфологические исследования. Такие исследования проводились достаточно широко (безотносительно КВЧ) в связи с изучением ультраструктурных аспектов памяти [67]. Было установлено, что процесс запоминания в клетках всегда приводит к формированию на их мембранах связанных с ними силами адгезии структур, состоящих из белковых молекул, ранее находившихся в цитоплазме. В процессе забывания (после выполнения структурами своей функции и возвращения клеток в нормальное состояние) эти подструктуры расформируются и образующие их молекулы вновь уходят в цитоплазму (рис. 2.7). Процесс формирования подструктур будет обсужден в гл. 3. Здесь же, забегаая вперед, отметим только, что стягивание белковых молекул из цитоплазмы к мембране происходит под воздействием электрической компоненты распространяющихся по мембране акустоэлектрических волн (см. подпараграф 2.1.4) и что наиболее интенсивно элементы подструктур формируются в точках, в которых деформированные мембраны имеют наибольшую кривизну с той стороны, куда направлены выпуклости (рис. 2.9 и 2.10).

Но поскольку стягивание белковых молекул из цитоплазмы к мембране и формирование подструктур происходит под действием поля распространяющейся по мембране волны, то в начальный период этого формирования (если оно осуществляется под действием внешнего облучения электромагнитными волнами миллиметрового диапазона), пока генерируемый клетками сигнал еще невелик и амплитуда поля в мембране определяется интенсивностью поступающего извне КВЧ-сигнала, этот сигнал не может не влиять на динамику процесса. Это утверждение не противоречит сформулированной в гл. 1 первой закономерности, согласно которой изменение в широких пределах плотности потока ЭМИ не влияет на биологическую реакцию организмов на облучение: эта закономерность относится только к конечному эффекту, а не к динамике его становления.

Для выявления характера этого влияния была поставлена серия экспериментов. Эксперименты определили, в частности, зависимость степени синхронизации колебаний в дрожжевых клетках (см. подпараграф 2.1.3) от мощности сигнала, воздействующего на клеточную суспензию, и длительности этого воздействия. Результаты соответствующего эксперимента приведены на рис. 2.11 [83]. Характер зависимости степени синхронизации от времени достаточно тривиален: чем больше начальное смещение частот генерируемых клетками колебаний от частоты синхронизирующего сигнала, тем длительнее должен быть процесс синхронизации, определяемый временем построения адгезированных с мембрана-

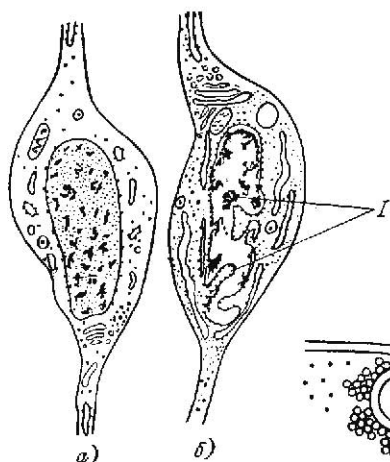


Рис. 2.9

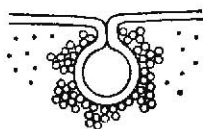


Рис. 2.10

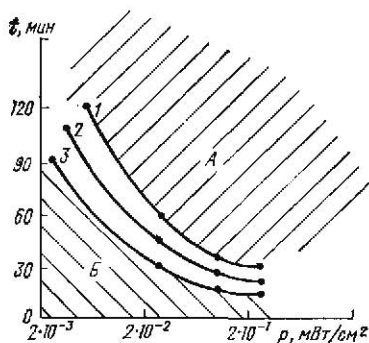


Рис. 2.11

Рис. 2.9. Образование в процессе запоминания воспринятой информации белковых подструктур на поверхности ядерных мембран ганглиозных элементов гидры [67]:

а — порма; *б* — после воздействия;

I — скопление белковых молекул у выступов мембраны

Рис. 2.10. Образование реактивных подструктур мембраны, связанных с ее активацией: покрытый белковыми агрегатами эндоцитозный пузырек [53]

Рис. 2.11. Зависимость длительности воздействия *t* от плотности потока *p* КВЧ-излучения при неизменном биологическом эффекте:

1 — минимальное время, требующееся для синхронизации колебаний всех клеток; *2* — время, требующееся для синхронизации колебаний 15% клеток; *3* — максимальное время воздействия, при котором синхронизация клеток еще не наступает;

A — область значений плотности потока ЭМИ и длительности воздействия, соответствующая синхронизации всех клеток; *B* — область значений плотности потока ЭМИ и длительности воздействия, в которой синхронизация клеток еще не наступает [83]

ми подструктур. Поэтому полнота синхронизации клеток со смещенными относительно друг друга частотами возрастает с увеличением длительности воздействия. Сопоставление же зависимостей степени формирования информационных подструктур от времени воздействия и от мощности воздействующего сигнала говорит о многом.

Как видно из рис. 2.11, мощность КВЧ-сигнала связана со временем воздействия, необходимым для достижения некоторого биологического эффекта, зависимостью, близкой к экспоненциальной. С чем это связано? Биологический эффект определяется формированием подструктур. Естественно предполагать, что ускорение этого процесса связано с привлечением для их формирования дополнительных белковых молекул из более удаленных от мембраны слоев цитоплазмы. Но, как уже отмечалось в предшествующем разделе, КВЧ-поле при удалении от мембраны падает экспоненциально.

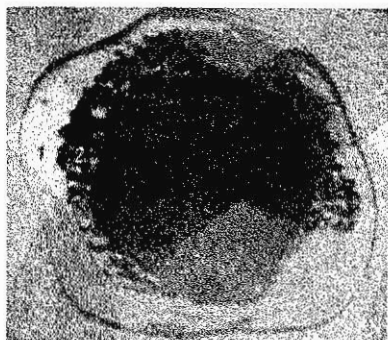


Рис. 2.12. Стягивание белковых молекул из нейроплазмы к мембране сильно измененного нейрона [53]:

1 — мембрана; 2 — агрегированный материал

ненциально (см. также § 2.2). Поэтому для того, чтобы формирующее структуры КВЧ-поле достигло величины, требуемой для эффективного воздействия на белковые молекулы на большем удалении от мембраны, необходимо, чтобы экспоненциальный

спад поля был скомпенсирован экспоненциальным же возрастанием внешнего КВЧ-сигнала.

Отметим, что стягивание белков к мембранам клеток, испытывавших неблагоприятные для их функционирования воздействия (т. е. в периоды, когда клетками активно генерируются управляющие сигналы), было описано морфологами [53] еще до выяснения его значения. Характер данного явления иллюстрирует рис. 2.12 [53]. По-видимому, этот процесс организуемого КВЧ-полем стягивания белковых молекул к поверхности мембраны говорит о том, что роль КВЧ-сигналов может не ограничиваться определением «направления» восстановительной деятельности клетки. Они участвуют в процессе мобилизации ее ресурсов, тем большей и тем более быстрой, чем интенсивнее управляющий сигнал.

2.1.6. ЧЕМ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ЗАВИСИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕЙСТВИЯ ЭМИ ОТ ИСХОДНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА?

Среди специфических особенностей действия ЭМИ, изложенных в гл. 1, не может не обратить на себя внимания зависимость биологического результата действия от исходного состояния живого организма. В какой-то мере ее природа ясна из уже проведенного выше анализа — образующиеся на мембранах подструктуры и определяемая ими частота генерируемых клетками колебаний приводят к устранению вызвавших их появление нарушений (механизм устранения см. в § 2.2 и в гл. 3), после чего подструктуры постепенно расформируются. При отсутствии нарушений или отклонений от нормы контролируемого параметра действие ЭМИ проявиться не может. Это относится и к описанному выше (см. рис. 2.5) выравниванию длительностей циклов деления отдельных клеток под действием ЭМИ: если длительность цикла некоторых клеток не соответствует частоте воздействующего на них сигнала, то под действием ЭМИ она изменится; когда же длительность цикла у всех клеток выравняется и станет равной

¹ Исследование выполнено совместно с Т. П. Божановой, В. А. Кичаевым, Т. В. Ребровой.

величине, отображенной на рис. 2.5,а, дальнейшие ее изменения прекратятся.

В терминах построения подструктур это звучит так. Если до начала действия ЭМИ подструктура отсутствовала или была недостроенной, то под влиянием внешнего излучения она может достроиться (на рис. 2.11 это отражается в синхронизации всех клеток). Если же подструктуры уже достроились и достигнута синхронизация всех клеток, то дальнейшее воздействие (отображаемое областью А рис. 2.11) видимого эффекта не дает. Время, необходимое для полной синхронизации клеток, зависит от степени исходной синхронизации. Например, при исходной синхронизации, соответствующей кривой 2 на рис. 2.11, время действия ЭМИ, необходимое для достижения полной синхронизации, оказывается меньшим, чем при исходной синхронизации, соответствующей кривой 3 этого рисунка, и много меньшим, чем для случая, когда исходная синхронизация достигалась без действия ЭМИ (область Б рис. 2.11).

Однако зависимость биологического результата действия ЭМИ от исходного состояния организма может быть и существенно более сложной. Дело в том, что одно функциональное нарушение может сочетаться с другим (или другими), и в этом случае действие ЭМИ, направленное на устранение одного нарушения, может сочетаться с борьбой самого организма с другим (другими) нарушением.

Чтобы получить представление о характере происходящих при этом процессов, был проведен следующий эксперимент.

На синхронную культуру клеток *Saccharomices Carlsbergensis* воздействовали ЭМИ на частоте 42,3 ГГц в течение 30 мин при плотности потока 0,03 мВт/см² (опыт ставился по аналогии с описанным в подпараграфе 2.1.3). Выбранное время воздействия было меньшим, чем время, отражаемое кривой 3 на рис. 2.11, т. е. меньшим времени, при котором явно обнаруживается синхронизирующее действие ЭМИ, равного приблизительно 32 мин. После этого, не изменяя плотности потока, скачкообразно изменяли частоту ЭМИ на 53,5 ГГц и определяли время, необходимое для полной синхронизации всех клеток культуры (рис. 2.13).

Как видно из рисунка, это время оказалось значительно большим, чем потребовалось бы для полной синхронизации как в случае воздействия ЭМИ только на частоте 42,3 ГГц (приблизительно 40 мин), так и на частоте 53,5 ГГц (приблизительно 50 мин), и равнялось 120 мин. На том же рисунке приведен результат воздействия ЭМИ, осуществленного в обратном порядке: сначала на частоте 53,5 ГГц, а затем на частоте 42,3 ГГц. Результаты оказались аналогичными: суммарное время воздействия ЭМИ, требующееся для синхронизации всех клеток, составило 110 мин.

Что же повлекло за собой резкое увеличение длительности воздействия, необходимой для синхронизации?

По-видимому, это объясняется тем, что подструктура, образующаяся при воздействии ЭМИ на первой длине волны (имити-

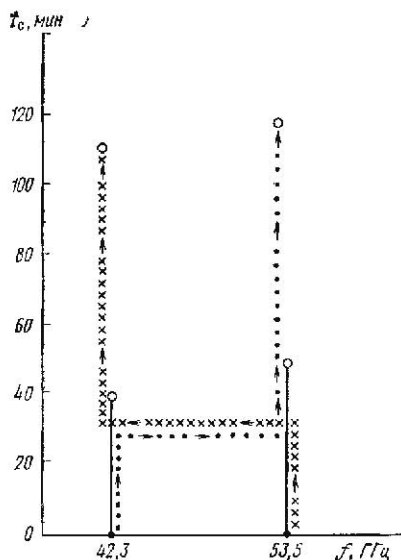


Рис. 2.13

Рис. 2.13. Зависимость длительности t_c воздействия ЭМИ, обеспечивающей синхронизацию клеток, от чередования частот синхронизирующих излучений:

— частота во время облучения не меняется; ... — облучение вначале производится на частоте 42,3 ГГц в течение 30 мин, затем на частоте 53,5 ГГц до полной синхронизации; xxx — облучение вначале производится на частоте 53,5 ГГц, затем на частоте 42,3 ГГц; □ — момент достижения синхронизации всех клеток

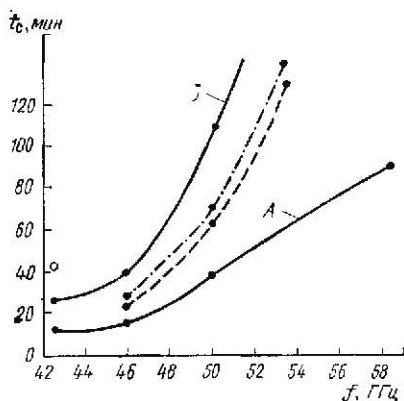


Рис. 2.14

Рис. 2.14. Зависимость длительности t_c воздействия ЭМИ на частоте f , обеспечивающей синхронизацию клеток от частоты и длительности предварительного (первичного) облучения:

первичное облучение проводилось на частоте 42,3 ГГц в течение 30 мин (кривая A) или 15 мин (кривая B), последующее облучение на частоте f проводится до полной синхронизации;

● — момент достижения полной синхронизации при отсутствии первичного облучения; — — — смещение кривой B в случае, если после первичного облучения до начала следующего делается перерыв длительностью 60 мин; — — — смещение кривой B в случае, если после первичного облучения до начала последующего делается перерыв 120 мин

рующем самостоятельную борьбу организма с помощью генерируемых им волн миллиметрового диапазона, связанную с определенным нарушением — отходом от оптимального функционирования), отлична от подструктуры, строящейся при воздействии ЭМИ на второй волне.

Пока подструктура, формирующаяся под действием ЭМИ на второй волне, не станет доминирующей и при том достаточно превьющей исходную по размерам образующих ее элементов, сложная подструктура, являющаяся результатом действия двух волн, может не обеспечивать возбуждения колебаний, т. е. имеет место конкуренция возбуждающихся колебаний. Формирова-

ние же доминирующей структуры на второй волне в условиях, когда уже существует другая подструктура, требует большего числа белковых молекул и соответственно более длительного воздействия. При этом эксперименты показали, что чем более длительным было воздействие ЭМИ на первой из волн, тем более длительным должно быть воздействие и на второй для обеспечения синхронизации клеток.

Рассмотренное явление имеет важное практическое значение для медицинской или биологической практики. Дело в том, что независимость биологического эффекта от изменения плотности потока ЭМИ (см. рис. 1.2) может навести на мысль о целесообразности (для «страховки») существенного превышения этой плотности над уровнем, минимально необходимым для достижения требуемого медицинского или биологического эффекта. В то же время описанные выше опыты говорят о том, что такое превышение может приводить к затруднению борьбы с другими (следующими за первым) нарушениями.

По-видимому, перенесенная болезнь может на длительное время (до расформирования подструктур, образовавшихся в ходе борьбы организма с этим заболеванием) затруднять борьбу организма с новыми заболеваниями. Впрочем, применимость приводимых в настоящем подразделе выводов к медицине требует дальнейшего, более глубокого изучения и обоснования. Данное замечание относится, конечно, и к другим соображениям относительно возможности переноса результатов опытов, проводимых на отдельных клетках, на многоклеточные организмы, неоднократно высказываемым в последующем тексте.

Обратим внимание на другую сторону вопроса. Описанный выше эксперимент отличался одной особенностью — очень большим различием частот начального и последующего воздействий (42,3 и 53,5 ГГц). Естественно, возникает вопрос, как изменится реакция организма, если частоты сблизить? Переходя на понятия, более близкие биологии и медицине, тот же вопрос можно сформулировать так: как будет отвечать организм на воздействие ЭМИ, если частота последнего будет не очень сильно отличаться от частоты колебаний, характеризующей исходное нарушение функционирования?¹ С этим вопросом связаны и другие.

Как отразятся на требованиях к эффективному воздействию ЭМИ различия в собственной реакции организма на нарушение функционирования?

Какую роль может сыграть длительность интервала времени, прошедшего между нарушением нормального функционирования и началом воздействия ЭМИ?

Для ответа на все эти вопросы была поставлена большая серия экспериментов, результаты которых отображены на рис. 2.14. Эксперименты проводились так же, как и в описанном выше слу-

¹ Естественно, в более общем случае следует говорить не об отдельной частоте, а о спектре частот.

чае (см. рис. 2.13), но разность частот исходного и последующего воздействий изменялась. Также были провариированы длительность исходного воздействия ЭМИ на частоте 42,3 ГГц (на волне 7,1 мм) и интервал времени между исходным и последующим воздействиями ЭМИ.

Как видно из рис. 2.14, при небольших разностях частот между исходным и последующим воздействиями суммарная длительность облучения ЭМИ, необходимая для достижения эффекта полной синхронизации, несильно отличается от длительности воздействия на частоте 42,3 ГГц, требующейся для достижения того же эффекта. Иными словами, при небольших разностях частот подструктуры, начатые построением на одной частоте, могут достраиваться на другой. Это явление представляется аналогичным наращиванию одного кристалла на кристаллической решетке другого, близкой ему по структуре.

При увеличении же разности частот характер процессов, по-видимому, изменяется: вновь строящаяся подструктура формируется не на основе достройки прежней, а самостоятельно; при этом, как уже отмечалось выше, обеспечение условий, необходимых для возбуждения колебаний в клетках, только затрудняется.

Полученные результаты перекликаются с некоторыми данными, почерпнутыми в медицинской литературе. Как известно, некоторые заболевания можно предотвратить или ослабить прививкой других (например, черную оспу предотвратить прививкой оспы крупного рогатого скота), но чаще разные заболевания, следующие одно за другим, только осложняют процесс выздоровления. В свете изложенных выше предположений и результатов этот факт можно было бы объяснить различием в мобилизации организма при заболеваниях, близких или существенно отличающихся по генерируемым организмом спектрам частот управления.

Из рис. 2.14 можно сделать выводы и относительно различий в необходимом воздействии ЭМИ в зависимости от активности собственной борьбы организма с нарушением. Поскольку воздействие на частоте 42,3 ГГц имитирует собственную борьбу организма с возникшим в нем нарушением, большая длительность этого воздействия соответствует большей активности борьбы организма с нарушением, выражающейся в степени сформированности организуемых самим организмом белковых подструктур.

Сравнение кривых А и Б на рис. 2.14 говорит о том, что при более активной борьбе самого организма с возникшим в нем нарушением требуемая помощь со стороны внешнего воздействия ЭМИ сокращается. Сокращается она и в том случае, если организм имеет больше времени на формирование подструктур. Но рациональное время задержки в начале воздействия ЭМИ зависит от наличия в организме резервов, которые могли бы быть мобилизованы генерируемыми организмом когерентными волнами. Некоторые важные факторы, влияющие на зависимость реакции живого организма на действие ЭМИ от его исходного состояния, рассмотрены в подпараграфе 2.2.7 и гл. 3.

На описанные явления целесообразно взглянуть с иной стороны.

Кривые на рис. 2.14 носят резонансный характер (на рисунке изображены лишь ветви, идущие от резонансной частоты в сторону более высоких частот). В то же время очевидно, что при изучении интегральных параметров эффект воздействия ЭМИ на здоровую, ничем не возмущенную клетку не является резонансным или резонансы выражены слабо: бесчисленные полосы, относящиеся к влиянию излучения на различные функции, перекрываются. (Слабо выраженные резонансы отображены, например, на рис. 2.2. Очевидно, они являются следствием малой электрической асимметрии, не устраняемой внутриклеточной системой поддержания гомеостаза.) После начального воздействия ЭМИ на частоте 42,3 ГГц на мембранах формируются регулярные подструктуры, способные (когда они полностью сформированы) поддерживать колебания на этой частоте и после прекращения внешнего воздействия. Даже еще не полностью сформированные подструктуры (не обеспечивающие генерации всех клеток на одной и той же частоте) уже определяют резонансный характер образовавшейся системы. Судя по данным экспериментов, приведенным на рис. 2.14, можно подумать, что резонансный характер КВЧ-воздействий, определяемый только подструктурами, а не собственными частотами мембранной системы, теряет свою остроту: полосы эффективного действия КВЧ расширяются.

Однако такой вывод связан лишь с выбранным критерием действия КВЧ-сигнала на клетки (критерием являлось достижение полной синхронизации клеток). С точки зрения влияния КВЧ-воздействий на ход восстановительного процесса существенны не только параметры сигнала, воздействующего на клетки извне в течение относительно короткого времени (около 1 ч), но и параметры сигнала, генерируемого затем (длительное время) самой клеткой. О частоте генерируемых колебаний можно судить по длительности цикла деления клеток (см. рис. 2.6).

С целью изучения данного вопроса была проведена большая серия экспериментов, в ходе которых изменялись как длительность первичного сигнала, имитирующего колебания, генерируемые клеткой после нарушения ее функционирования, так и длительность действующего вслед за этим на клетки сигнала с частотой, отличающейся от частоты первичного сигнала. В результате этих экспериментов было установлено, что если длительность первичного сигнала заметно превышает длительность последующего, то после прекращения его действия на клетки сами они генерируют колебания с частотой первичного сигнала, имитирующего генерацию клетками колебаний после нарушения их (клеток) функционирования. Если же, наоборот, длительность последующего КВЧ-воздействия (имитирующего действие ЭМИ, направленное на устранение нарушений) заметно превышает длительность первичного, то после прекращения внешнего КВЧ-воздействия клетки генерируют колебания с его частотой (плотности по-

токов мощности как первичного, так и последующего воздействия выбирались одинаковыми и соответствовали величинам, использовавшимся в описанных выше экспериментах, результаты которых отображены на рис. 2.14).

Например, если первичное КВЧ-воздействие на клетки осуществлялось на частоте 42,3 ГГц и длилось 60 мин, а последующее осуществлялось на частоте 53,5 ГГц и длилось 30 мин, то после его прекращения клетки самостоятельно генерировали на частоте 42,3 ГГц. Если же первичное воздействие на частоте 42,3 ГГц длилось 30 мин, а последующее на частоте 53,5 ГГц длилось 60 мин, то после его прекращения клетки самостоятельно генерировали колебания с частотой 53,5 ГГц.

О чем говорят эти результаты?

1. Частота генерируемых клеткой колебаний (частота реально воздействующих на нее волн) определяется собственной частотой колебаний большей части белковых молекул, вошедших в состав элементов подструктур (притягиваются к мембране и входят в состав элементов подструктур молекулы, собственные частоты которых совпадают с частотой распространяющихся в мембране акустоэлектрических волн — подробнее см. гл. 3). Следовательно, до тех пор, пока резонансная частота основной части белковых молекул в подструктурах определяется колебаниями, генерируемыми самими клетками после нарушения условий их функционирования, частота этих колебаний внешними воздействиями не изменится. Подструктуры играют роль своеобразных преобразователей частоты: от частоты внешнего сигнала к частоте, определяемой нарушением функционирования¹.

2. Воздействующие извне на клетки КВЧ-сигналы на частотах, смещенных относительно частоты, характеризующей нарушение функционирования (но лежащих в пределах описанных выше расширенных резонансных полос — см. рис. 2.14), содействуют достройке подструктур, увеличению их объема и глубины погружения в цитоплазму. Поэтому до тех пор, пока доля молекул, входящих в подструктуры под воздействием сигналов смещенной частоты, не превысит доли белковых молекул, вошедших в подструктуры под воздействием колебаний, генерируемых самой клеткой после нарушения ее функционирования, действие внешних КВЧ-сигналов на восстановительные процессы оказывается позитивным (подробнее см. гл. 3).

3. Увеличение плотности потока мощности или снижение интервала времени между следующими друг за другом сеансами КВЧ-воздействия на смещенной частоте выше того уровня, при котором число входящих в подструктуры под действием этого сигнала белковых молекул остается меньшим числа белковых молекул, вошедших в подструктуры под действием волн, частота

¹ Вероятно описываемым преобразованием частоты в относительно широком диапазоне объясняется возможностью использования в терапии узкополосных генераторов шума КВЧ.

которых соответствует характеру нарушения функционирования, отрицательно сказывается на ходе восстановительного процесса: в клетке начинают генерироваться управляющие сигналы на смещенной частоте, не содействующие в большинстве случаев устранению имевшего место нарушения. Иными словами, в этом случае реально действующей становится частота ЭМИ, падающих на взвесь клеток извне, отличающаяся от частоты колебаний, генерируемых клетками после нарушения их функционирования.

4. Поскольку динамика восполнения выбывших из цитоплазмы и вошедших в подструктуры белковых молекул зависит от состояния организма и с возрастом или болезненными изменениями снижается (см. гл. 3), то соответственно оптимизация восстановительного процесса в этих условиях должна быть связана или со снижением интенсивности КВЧ-воздействий, или с сокращением длительности сеансов, или с увеличением интервалов времени между ними.

Описанные выше эксперименты подсказывают возможный путь упрощения терапевтической КВЧ-аппаратуры: настройка на биологически активные частоты при расширении полос эффективного действия (см. рис. 2.14), значительно превышающих ширину собственных резонансных полос мембран (см. рис. 1.3, 2.1, 2.2), облегчается.

2.1.7. КАК МОЖНО ОЦЕНИТЬ ДИНАМИКУ РАСФОРМИРОВАНИЯ ПОДСТРУКТУР И КАК МОЖНО ПОВЛИЯТЬ НА УСКОРЕНИЕ ДЕЗАКТИВАЦИИ КЛЕТОК ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМИ? ¹

Выше речь шла в основном о процессах усиления адаптивного роста клеток при воздействии на них ЭМИ на соответствующих частотах. Под действием ЭМИ происходит или ускоряется формирование на мембранах клеток подструктур, определяющих частоту колебаний, генерируемых самими клетками. После окончания процессов адаптивного роста подструктуры расформируются и белковые молекулы уходят в цитоплазму. Как уже отмечалось в подпараграфе 2.1.5, это расформирование является, по-видимому, следствием броуновского движения.

Однако ясно, что как с теоретической, так и с практической точек зрения большое значение может иметь не только активация клеток, происходящая при осуществлении в них процессов адаптивного роста (или при их «подготовке» к процессам адаптивного роста, происходящей, в частности, при воздействии ЭМИ), но и их дезактивация. Последнее может играть роль, например, в случае, если деятельность определенных клеток препятствует лечебному действию тех или иных средств.

Влиять на броуновское движение можно только изменением температуры, и эта возможность ограничена допустимым для организма диапазоном температур.

¹ Исследование выполнено совместно с Т. П. Божановой, А. К. Брюховой, В. А. Кичаевым, Т. Б. Ребровой.

Поэтому естественно возникает вопрос: нельзя ли осуществить снижение той или иной активности клеток воздействием ЭМИ на образующиеся в них подструктуры? Рациональность такой постановки вопроса подсказывается анализом, проведенным в предшествующем разделе. Но как оценить динамику этого процесса и можно ли на нее влиять?

Чтобы получить ответ на эти вопросы, был проведен следующий эксперимент.

На синхронную культуру дрожжей *Saccharomices Carlsbergensis* воздействовали, как и в предшествующем эксперименте, потоком ЭМИ на частоте 42,3 ГГц при плотности потока мощности 0,03 мВт/см² в течение 50 мин (т. е. в течение времени, несколько превышающем необходимое для достижения полной синхронизации клеток, — приблизительно 40 мин). Затем скачком изменяли частоту на 53,5 ГГц и осуществляли воздействие на этой волне в течение 15 мин (рис. 2.15). Синхронизация после этого пропадала (четко сформированные «ступеньки» исчезали). Этот ре-

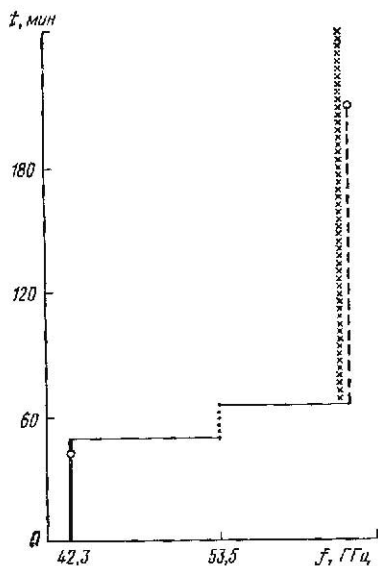


Рис. 2.15. Срыв синхронизации культуры дрожжей, предварительно доведенной до полной синхронизации облучением на частоте 42,3 ГГц, при 15-минутном последующем облучении этой культуры на частоте 53,5 ГГц:

— облучение на частоте 42,3 ГГц; ... облучение на частоте 53,5 ГГц; xxx — облучение отсутствует; — — — синхронизация отсутствует; ○ — момент достижения полной синхронизации клеток

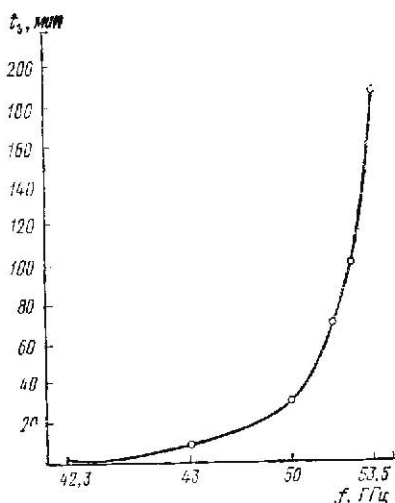


Рис. 2.16. Зависимость времени задержки t_2 полной синхронизации культуры дрожжей, предварительно облученной ЭМИ на частоте 42,3 ГГц в течение 50 мин, от частоты f повторного облучения в течение 15 мин:

○ — момент достижения полной синхронизации клеток

зультат совершенно понятен после проведенного в предшествующем разделе анализа. Но по прошествии 3,5 ч, как это видно из рис. 2.15, синхронизация снова восстанавливалась, причем длительность «ступенек» после восстановления синхронизации соответствовала синхронизации колебаний в клетках излучением на частоте 42,3 ГГц.

Этот результат может быть объяснен тем, что подструктура, возникшая в результате 15-минутного действия ЭМИ на волне 5,6 мм, в значительной степени расформировалась вследствие броуновского движения и уже не препятствовала синхронизации колебаний, определяемых подструктурой, сформировавшейся в течение 50-минутного воздействия ЭМИ на волне 7,1 мм.

Этот эксперимент позволяет сделать некоторые принципиальные выводы:

во-первых, регулируя длительность воздействия и плотность потоков ЭМИ на разных волнах, можно исследовать динамику расформирования подструктур, соответствующих различным условиям воздействия;

во-вторых, используя различные по интенсивности и длительности воздействия ЭМИ на разных длинах волн, можно вызвать быструю рассинхронизацию клеток (и, по-видимому, в более общем случае — быструю их дезактивацию) на определенный, по желанию регулируемый период времени. Последний вывод наглядно иллюстрируется рис. 2.16.

2.1.8. ЧТО ДОКАЗЫВАЕТ КОГЕРЕНТНОСТЬ ГЕНЕРИРУЕМЫХ КЛЕТКОЙ КОЛЕБАНИЙ? ОСЛОЖНЕНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПРИ СНИЖЕНИИ СТЕПЕНИ ПОСТОЯНСТВА ЧАСТОТЫ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ

При обсуждении характера генерируемых клетками КВЧ-колебаний и их роли в процессе управления (подпараграфы 2.1.2 и 2.1.3), естественно, возник вопрос о когерентности колебаний.

Какие эксперименты наиболее прямо говорят о когерентности указанных колебаний? Прежде всего — это синхронизация частоты этих колебаний (синхронность сохранялась после прекращения внешнего облучения) и выявление накопленных эффектов-следствий генерации КВЧ-колебаний (например, эффектов, связанных с построением подструктур). Генераторы шумовых колебаний — источники теплового излучения — так засинхронизировать нельзя (это противоречило бы второму закону термодинамики), а эффекты, связанные с этими колебаниями (кроме нестационарных тепловых) нельзя накопить.

Поскольку эксперименты по синхронизации колебаний в клетках уже обсуждались в подпараграфе 2.1.3, остановимся на экспериментах по накоплению. Прежде всего, нельзя не упомянуть об изящных опытах по направленному смещению и взаимопритяжению клеток эритроцитов в условиях броуновского движения, описанных в [54]: несмотря на то, что связанные с броуновским дви-

жением хаотические смещения эритроцитов очень велики по сравнению с направленными смещениями клеток вследствие их взаимопритяжения, последние, постепенно накапливаясь, приводят к сближению клеток. Показателен в этом отношении и описанный в [84] эксперимент по сближению клеток эмбриональных фибробластов, колебания в которых синхронизованы внешним КВЧ-полем. Суспензия клеток в чашке Петри помещается на прямоугольный рупор и в период осаждения на дно облучается ЭМИ от внешнего источника. Степень синхронизации, и следовательно и взаимопритяжение клеток, наиболее велики над центром рупора (в области концентрации электрической компоненты поля ЭМИ). Поэтому распределение осевших клеток на дне чашек Петри имеет форму «бабочки» (рис. 2.17). Поскольку силы взаимодействия невелики, смещение клеток накапливается постепенно: в описанном эксперименте в течение часа.

Естественно предположить, что чем выше степень постоянства частоты колебаний, тем меньшая мощность колебаний обеспечивает эффект управления в условиях, когда мощность этих сигналов ниже уровня тепловых шумов, очень значительных в этом диапазоне (около 10^{-14} Вт/м²·рад²·Гц). Чтобы экспериментально проверить это предположение и одновременно получить некоторую количественную оценку явления, был проведен эксперимент [83], подобный описанным в подпараграфе 2.1.3 опытам по синхронизации генерируемых клетками колебаний внешним монохроматическим КВЧ-сигналом. Отличие заключалось в том, что облучение осуществлялось промодулированным по частоте сигналом, причем амплитуда колебаний частоты изменялась от опыта к опыту, а частота модуляции сохранялась постоянной, равной 50 Гц. Ре-

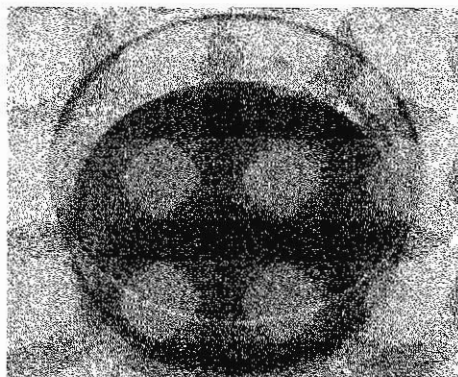


Рис. 2.17. Распределение эмбриональных фибробластов на дне чашки Петри, если в период осаждения клеток генерируемые ими КВЧ-колебания были синхронизованы внешним сигналом [84]: облучатель — рупор с раскрывом

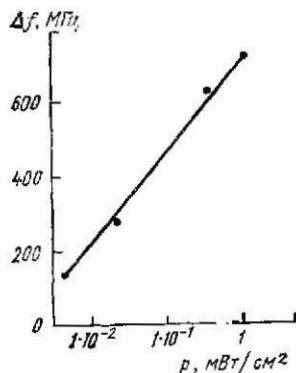


Рис. 2.18. Зависимость максимальной амплитуды колебаний частоты Δf , при которой внешним излучением с плотностью потока мощности p еще могут быть синхронизованы частоты колебаний в клетках [83]

зультаты эксперимента отображены на рис. 2.18. Как видно из этого графика, чем больше амплитуда колебаний частоты (неизбежно вызывающих некоторую начальную рассинхронизацию колебаний в клетках), тем больше должна быть мощность сигнала для достижения за некоторый фиксированный период времени определенной степени синхронности клеток. При этом возрастание требуемой для синхронизации мощности с увеличением амплитуды колебаний частоты имеет экспоненциальный характер. В соответствии с проведенным в подпараграфе 2.1.5 анализом характер наблюдаемой зависимости говорит о том, что при снижении степени постоянства частоты колебаний в клетках управление их функционированием требует большей мобилизации ресурсов клетки (стягивания белковых молекул к мембране из более удаленных от нее слоев цитоплазмы). А это, в свою очередь, может объяснить, почему немолодой или ослабленный болезнями организм, уже неспособный, по-видимому, из-за имеющихся в клетках структурных нарушений обеспечить высокую степень постоянства частоты генерируемых сигналов (этот вопрос анализируется в гл. 3), более подвержен расстройствам и заболеваниям. При этом нужно учесть, что в условиях, когда снижено постоянство частоты колебаний, генерируемых самими клетками, одновременно понижается и эффективность действия механизма преобразования частоты, описанного в подпараграфе 2.1.6. И наоборот, может пояснить, почему в случае расстройств функционирования организма, связанных с нарушением межклеточных или внутриклеточных связей, чем бы это расстройство не было вызвано, воздействие внешними когерентными КВЧ-сигналами на нужных (т. е. определяемых характером нарушения) частотах оказывает благоприятное действие на восстановление нормального функционирования.

Попутно отметим, что последний эксперимент очень нагляден с точки зрения показа нетеплового характера действия ЭМИ: частотная модуляция в относительно узкой полосе частот практически не влияет на поглощение клетками энергии и превращение ее в тепло. В то же время, как видно из рис. 2.14, сохранение биологического эффекта требует при этом экспоненциального роста энергетических затрат.

Итоговые замечания об особенностях наблюдаемых резонансных явлений в зависимости от состояния объекта, подвергающегося воздействию ЭМИ, и выбора биологического теста. Для создания цельной картины наблюдаемых явлений, относящихся к резонансному действию ЭМИ на живые организмы, целесообразно подвести краткие итоги описанных в настоящей главе исследований этого вопроса.

1. При изучении интегральных параметров резонансное действие или вообще не наблюдается, или острорезонансный биологический эффект (резонансное изменение величины интегрального параметра) выражен слабо — изменения невелики.

2. Если ЭМИ воздействует на здоровый, нормально функционирующий организм, на клеточных мембранах образуются подструк-

туры, определяющие биоритм и излучение мембран, но текущее функционирование не изменяется. Образование подструктур на конкретных мембранах имеет место лишь в их резонансных полосах частот.

3. Если действие фактора, нарушающего нормальное функционирование, происходит после воздействия ЭМИ и связано с мембраной, на которой ранее образовались подструктуры, то действие ЭМИ на резонансных частотах мембраны сказывается в изменении процессов адаптивного роста на этих частотах — проявляется четко выраженный острорезонансный эффект.

4. Если фактор, нарушающий нормальное функционирование, оказал воздействие на организм до начала его облучения ЭМИ, то эффект последнего оказывается различным в зависимости от резервных возможностей организма, разрыва во времени между моментом нарушения и началом облучения, соответствия частоты облучения и характера нарушения и т. д. (подробнее см. подпараграф 2.1.6). Здесь отметим только, что чем больше резервные возможности организма, тем шире полосы эффективного действия ЭМИ.

2.2. МЕХАНИЗМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ГЕНЕРАЦИЕЙ КЛЕТКАМИ КВЧ-КОЛЕБАНИЙ

2.2.1. НАПРАВЛЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ранее приводились и анализировались экспериментальные данные, показывающие, что острорезонансное действие ЭМИ может быть направлено на ускорение и повышение эффективности происходящих в организме восстановительных и приспособительных процессов. При этом указанная эффективность проявляется, если частоты и интенсивность воздействующих на организм ЭМИ имитируют характеристики сигналов, генерируемых в соответствующих случаях самим организмом в целях управления процессами адаптивного роста и восполняют недостаточность этих сигналов, когда болезни, возраст или другие причины привели к прекращению или к снижению их уровня.

Знакомство с изложенными в § 2.1 экспериментальными данными, подтверждающими гипотезу о генерации клетками когерентных колебаний, очень упрощает подход к теоретическому анализу механизма действия ЭМИ, позволяя не затрагивать проводившихся ранее теоретических исследований, в которых в качестве исходной предпосылки используется предположение о невозможности генерации живыми организмами когерентных колебаний. Справедливости ради следует заметить, что в явном виде каких-либо доказательств невозможности возбуждения в живых организмах когерентных колебаний не выдвигалось. Просто обсуждались нехарактерные для рассматриваемого диапазона квантовые явления и при этом подчеркивалась малая вероятность многоквантовых переходов, обсуждалась неразличимость и недейственность сигналов

очень малой интенсивности на фоне соизмеримых с ними тепловых флуктуаций и т. п., т. е. обсуждались вопросы, автоматически снимающиеся, если речь идет о когерентных колебаниях.

При желании ознакомиться с выводами таких теорий и возникающими непреодолимыми трудностями согласования их выводов с результатами экспериментов, это можно сделать по работе [85].

Можно предельно сократить изложение существа первых теоретических работ по проблеме, посвященных доказательству принципиальной возможности существования механизма генерации когерентных колебаний в живых организмах, но не увязывающих рассматриваемые механизмы с особенностями их функционального использования: в такой сложной системе, как живой организм, умозрительно можно представить себе ряд различных механизмов генерации [49], но выбрать реально действующие можно лишь исходя из их соответствия функциональному назначению.

Поскольку настоящая книга посвящена биофизическим, в основном радиофизическим аспектам проблемы, вне рамок обсуждения останется и широкий круг биокibernетических работ, хотя и посвященных системам управления живых организмов, но рассматривающих их в очень обобщенной форме, трудно увязываемой с анализом конкретных механизмов управления.

В то же время, как показывает практика, отсутствие теоретических представлений не позволяет правильно поставить экспериментальные исследования, ведущие к существенным для практики выводам. Например, одной из распространенных ошибок является использование для экспериментов (по выяснению влияния КВЧ-излучений) организмов с неизменными по сравнению с пормой характером текущего функционирования (на которые, как уже неоднократно подчеркивалось, КВЧ-излучения в принципе не могут оказывать существенного влияния [44]), а также оценка результатов воздействия КВЧ-излучения без учета параметров, характеризующих приспособленность организма к тем или иным условиям существования [87].

2.2.2. О СВЯЗИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ДИАПАЗОНОМ ЧАСТОТ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ

Живые организмы исключительно сложны и соответственно нуждаются в очень развитой системе управления. Даже если не говорить о таких сверхсложных системах, как организм млекопитающих или человеческий организм (последний включает $10^{14} \dots 10^{16}$ клеток), а ограничиться одиночной клеткой, то ее реакции чрезвычайно разнообразны, и это разнообразие косвенно характеризует комплексность системы, управляющей этими реакциями. Так, А. Фултон пишет: «Для того, чтобы дать полное описание всех типов формы и движения эукариотических клеток, потребовалась бы не одна книга» [68].

Область эффективного использования той или иной системы управления в значительной мере определяется диапазоном частот

сигналов управления. Этот вопрос подвергся анализу в работе [60]. Частично перекликающиеся с [60] идеи содержатся в [88].

В той мере, в которой речь идет об управлении процессами в одиночной изолированной клетке, в ее объеме (т. е. в объеме, средняя величина которого имеет порядок 10^{-16} м³) должна быть заключена вся информация, необходимая для формирования сигналов, осуществляющих адекватное управление процессами, содействующими сохранению гомеостаза в любых встречающихся условиях жизнедеятельности. А это означает, что «запись» информации должна быть предельно экономной. Количество различных сигналов, которые могут быть возбуждены в той или иной резонансной системе, определяются в первую очередь ее электрической длиной. Следовательно, для обеспечения необходимого разнообразия сигналов управления длины возбуждаемых волн должны быть очень малы по сравнению с геометрической длиной такой системы. Естественно, возможная степень сокращения длины волны за счет увеличения частоты колебаний f ограничивается тем, что за определенным пределом энергия кванта hf оказывается достаточной для разрушения биологических связей, т. е. реально ограничивается УФ-диапазоном частот.

Однако длина волны Λ в системе определяется не только частотой, но и скоростью распространения v

$$\Lambda = v/f. \quad (2.1)$$

Если v соответствует скорости распространения акустических волн (сотни метров в секунду), то при частотах, равных или превышающих 10 ГГц, длины волны Λ становятся меньшими 10^{-8} м, что обеспечивает возможность размещения в объеме клетки (средний линейный размер которой имеет порядок 10^{-5} м) резонансных систем большой электрической длины. Скорость в сотни метров в секунду свойственна не только чисто акустическим волнам, но и акустоэлектрическим волнам, которые будут обсуждаться в подпараграфе 2.2.3. Дальнейшее же существенное (на один-два порядка) сокращение длины волны привело бы к ее соизмеримости с размерами атомов, следствием чего неизбежно являлась бы тепловая неустойчивость любых информационных структур, размер информационно значимых элементов которых имел бы порядок одной длины волны. Сокращение Λ до тех же величин при меньших f за счет дальнейшего снижения v привело бы к механической неустойчивости волноведущих структур (клеточных мембран) из-за уменьшения модуля упругости (см. подпараграф 2.2.3).

Выводы из соображений поясняют, почему влияние когерентных излучений малой (нетепловой) интенсивности на живые организмы особенно часто наблюдалось в миллиметровом и еще более коротковолновых диапазонах. При этом, как показано в [60], с точки зрения использования в информационной системе живых организмов миллиметровые волны обладают двумя дополнительными преимуществами:

1. Потери энергии, связанные с распространением в липидных

мембранах электрического поля, относительно невелики (в длинноволновой части миллиметрового диапазона около 0,25 дБ/см [89]). В § 2.1 были приведены данные, говорящие о том, почему водное окружение липидных мембран на величину этих потерь практически не влияет: водная среда отделена от гидрофобного слоя расстоянием около 10 Å, в котором плотность потока мощности снижается на порядок. По-видимому (судя по приведенной в § 2.1 ширине резонансных полос), относительно невелики при этом и акустические потери (по приведенным ниже оценкам, сделанным Н. П. Диденко, эти потери могут объяснить реально наблюдаемую ширину резонансных полос). Последнее, вероятно, частично объясняется уже отмеченной в этом разделе особенностью строения мембран: акустическая связь через щель в 10 Å, отделяющую гидрофобный слой от цитоплазмы, очень ослаблена, и имеют место лишь собственные потери в гидрофобной области мембраны.

2. Затраты энергии на формирование некоторого объема информации в миллиметровом диапазоне относительно невелики по сравнению как с более длинноволновыми, так и с существенно более коротковолновыми диапазонами. Это связано с различием в характере шумов в более длинноволновых и существенно более коротковолновых (по сравнению с миллиметровым) диапазонах волн. В более длинноволновых диапазонах доминируют шумы, имеющие тепловую природу.

Поскольку в этой области $hf \ll kT$, информационные сигналы, превышающие или соизмеримые с уровнем шума, формируются очень большим числом квантов. Информативность этих сигналов возрастает с частотой f . А поскольку необходимый уровень сигналов определяется kT , отношение объема информации к энергетическим затратам на его формирование с ростом f повышаются.

В существенно более коротковолновой области $hf \gg kT$. Здесь доминируют квантовые шумы, связанные с дискретной природой излучения. Уверенная передача определенного объема информации требует, чтобы соответствующий сигнал формировался числом квантов, превышающим некоторый минимальный для этого объема информации уровень. Чем выше f , тем больше минимальная энергия сигнала, определяемая этим числом квантов. Поэтому отношение объема информации к энергетическим затратам на его формирование в области, где $hf \gg kT$, снижается пропорционально f .

Для живых организмов с их ограниченными энергетическими ресурсами минимизация затрат последних, определяемая использованием миллиметрового диапазона и ближайших к нему более коротковолновых диапазонов, достаточно существенна.

2.2.3. АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАНАХ; ИХ РЕЗОНАНСЫ

В § 2.1 были приведены данные экспериментов, показавших, что резонансное действие КВЧ-излучений на клетки связано с возбуждением акусто-электрических волн в замкнутых клеточных мем-

бранах. Теоретический анализ вопроса изложен в [44, 47]. В этих работах на основе данных о клеточных мембранах, приведенных в [48] (модуль упругости $K_y \approx 0,45$ Н/м, толщина гидрофобной области $\Delta_m \approx 3 \cdot 10^{-9}$ м), проводится оценка скорости распространения акустических (поверхностных) волн в мембране

$$v_n \approx [K_y / \rho \Delta_m]^{0,5}, \quad (2.2)$$

где ρ — плотность липидного (жироподобного) слоя, которая при оценке принята равной 800 кг/м³. Вычисленное по (2.2) значение $v_n \approx 400$ м/с. Используя (2.1) и (2.2), можно определить длину волны в мембране для разных f , а также смещение по частоте между центрами соседних резонансных полос Δf , соответствующее изменению на единицу числа длин волн, укладывающихся на периметре мембраны:

$$|\Delta f| \approx [K_y / \rho \Delta_m]^{0,5} (\pi d)^{-1}, \quad (2.3)$$

d — диаметр мембраны. Хотя возбуждение колебаний может иметь место в сечениях мембран, соответствующих разным d , для оценки указанных величин это значения не имеет, ибо, как правило, различия в d , соответствующих разным способам выбора сечения, невелики.

Вычисленные по (2.3) значения Δf удовлетворительно совпали с величинами, приводимыми для спектральных характеристик разных клеток. Это подтвердило обсуждавшиеся в подпараграфе 2.2.2 соображения, что информационные сигналы в клетках должны распространяться со скоростью акустических волн. Разделив правую и левую часть (2.3) на f и воспользовавшись (2.1), преобразуем (2.3) к виду

$$f / \Delta f = N = \pi d / \lambda. \quad (2.4)$$

Поскольку число N длин волн λ на периметре мембраны равняется для клеток, у которых d лежит в пределах $0,5 \dots 10$ мкм, небольшим сотням или тысячам, то соотношение (2.4) говорит о том, что острота резонансов в биологических мембранах соответствует остроте резонансов контуров с добротностью порядка $10^3 \dots 10^4$.

Как известно [49], клеточные мембраны поляризованы, и при нормальном функционировании клетки напряженность электрического поля в мембране, перпендикулярного ее поверхности, составляет приблизительно 10^7 В/м. Поэтому при распространении акустических волн (вызывающих периодические изменения толщины мембраны) в поляризованной мембране появляется переменное электрическое поле, изменяющееся с частотой возбуждавших его акустических колебаний. Для колебаний малой амплитуды, о которых здесь идет речь, мембрана представляет собой линейную систему, а следовательно, при определенной величине постоянного электрического поля в мембране отношение амплитуд акустических и электрических колебаний сохраняется постоянным, независимо от амплитуды распространяющейся волны, т. е. речь идет об акустоэлектрической волне, в которой переменные электрические и аку-

стические параметры не могут регулироваться независимо. Незабезынтересно отметить, что в отличие от электромагнитных волн (замедление которых в мембране было бы незначительным), длина акустоэлектрической волны в мембране, как уже отмечалось, приблизительно в 10^6 раз меньше длины волны в свободном пространстве; поэтому энергия электрического поля в ходе колебаний в основном преобразуется не в энергию магнитного поля (области преимущественного сосредоточения магнитного поля в волне такой малой длины отсутствуют), а в энергию акустических колебаний, и обратно. Это аналогично преобразованию энергии в некоторых низкочастотных параметрических системах, в которых колебания поддерживаются за счет преобразования механической энергии, затрачиваемой на увеличение расстояния между зарядами на обкладках конденсатора, в энергию электрического поля.

Разным резонансным частотам f соответствует различное число стоячих волн N на периметре мембраны. Поэтому с частотой f изменяется и характер распределения переменного поля как на поверхности мембраны, так и в прилежащих к ней внутриклеточном и внеклеточном пространствах, а следовательно, и характер управляющего действия этого поля (подробнее см. гл. 3). Но при большем общем числе длин волн, укладывающихся по периметру мембраны, изменение этого числа на единицу, соответствующее соседним резонансам, вносит относительно очень малое изменение в характер распределения поля. В результате характер управляющего действия, связанного с пространственной структурой поля, от одного резонанса к другому меняется очень медленно (это соответствует и данным эксперимента — см. § 2.1).

Характер резонансов в мембранах позволяет объяснять и другой, важный как в теоретическом, так и в практическом планах экспериментально установленный факт: почему в одинаковых условиях проведения эксперимента очень высокой воспроизводимостью обладает не только тонкая структура спектров, но и значения частот, на которых наблюдаются определенные биологические эффекты, несмотря на то, что дисперсия размеров отдельных клеток и их субклеточных элементов довольно велика. Дело в том, что на величину v_n согласно (2.2) влияет ряд параметров (вычисленная величина $v_n \approx 400$ м/с определена для некоторых средних их величин и сама является, таким образом, определенным усреднением). В соответствии с (2.1) A при фиксированной f изменяется пропорционально v_n , и, следовательно, для данных N и f величина d (см. (2.4)) также будет изменяться пропорционально v_n . А изменение числа длин волн N (для фиксированной f) на периметре мембраны в данных условиях эксперимента очень маловероятно. Мембрана строится последовательно из отдельных «кирличиков» — молекул. При построении клеточных структур одна ошибка, как уже упоминалось, приходится на 10^9 движений, выполняемых в ходе построения [51]. В то же время на длину волны приходится очень малое число молекул [49], так что даже в тех случаях, когда по периметру мембраны укладываются тысячи длин волн Λ ,

изменение при построении мембран числа молекул вдоль их периметра у сколько-нибудь заметного процента клеток практически исключается. А при одном и том же числе молекул на величины v_n и Δ , как это следует из анализа (2.1), (2.2) и входящих в (2.1) параметров, влияет лишь продольная (вдоль периметра) плотность упаковки молекул, изменения которой приводят к пропорциональным друг другу изменениям Δ и d .

Нередко возникает вопрос, в каком диапазоне частот и длин волн могут возбуждаться резонансы в мембранах? Минимальное значение $N=1$. Поэтому для средней клетки, диаметр которой близок к 5 мкм в соответствии с (2.4), низкочастотная граница лежит в окрестности $2 \cdot 10^7$ Гц (длина волны в свободном пространстве 15 м), но связь с этими относительно длинными волнами исчезающе мала. (Вопросы связи падающих на клетку извне ЭМИ с возбужденными в мембране волнами обсуждаются в подпараграфе 2.2.5 и § 3.1). Высокочастотная граница связана, по-видимому, с возрастанием энергии квантов до величин, уже не совместимых с жизнедеятельностью (разрушающих ткани). Вероятно, она лежит в УФ-диапазоне [59]. Во всяком случае, в литературе неоднократно встречались упоминания о том, что действие на клетки лазерного излучения осуществляется через посредство клеточных мембран. Однако, как уже отмечалось в подпараграфе 2.2.2, акустоэлектрические волны в таких высокочастотных диапазонах уже не возбуждаются. Но зато связь с этими (электромагнитными) волнами устанавливается проще и является более сильной, чем в случае акустоэлектрических волн.

Управляющее действие внешних излучений может быть связано не только с пространственным распределением поля, но и с резонансными частотами тех или иных белковых молекул или внутриклеточных элементов. Эти последние изменения со структурой поля акустоэлектрических волн связаны слабее. В [44] отмечается также, что, поскольку различные мембранные системы буквально пронизывают всю клетку, акустоэлектрические волны, отходя от резонирующей мембраны, могут проникать к любой области клетки, причем направление распространения и действия зависит от типа колебаний в резонирующей мембране и характера мембранной сети, изменяющей конфигурацию в разных условиях [68].

Изложенные выше теоретические оценки и соображения, относящиеся и к акустоэлектрическим волнам и к их управляющему действию в клетках, не затрагивали вопросов возбуждения таких волн. Вопрос же о возбуждении нетривиален ни для случая, когда оно осуществляется под действием внешнего облучения, ни когда речь идет об автономной генерации колебаний самой клеткой. Обсуждение вопросов, связанных с возбуждением колебаний в мембране, непосредственно приводит к анализу механизма генерации клетками когерентных колебаний. Поэтому представляется целесообразным перед началом этого обсуждения кратко остановиться на некоторых гипотезах о характере и природе механизма действия когерентных колебаний на живые клетки, выдвинутых

еще до выяснения функционального назначения последних в живых организмах и осуществления достаточно тщательной экспериментальной проработки вопросов, связанных с этими механизмами (см. подпараграф 2.2.4).

2.2.4. ПЕРВЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МЕХАНИЗМОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ КОГЕРЕНТНЫХ КОЛЕБАНИЙ В КЛЕТКАХ

Среди теоретических работ, посвященных обоснованию возможности генерации живыми клетками когерентных колебаний, особое место занимают многочисленные исследования Г. Фрелиха, начатые еще в 1968 г. и суммированные им в 1980 г. в работе [46]. Г. Фрелих один из первых высказал предположение, что в живых организмах благодаря наличию энергии метаболизма могут генерироваться когерентные колебания, причем в энергию когерентных колебаний может преобразовываться энергия хаотических тепловых колебаний.

Сопоставив толщину мембраны с длиной акустических волн, он предположил, что действие излучений может быть причиной возбуждения в различных участках мембраны акустических колебаний, с которыми вследствие поляризации мембран связано появление электрических колебаний. При этом он пришел к выводу, что резонансные частоты могут лежать в КВЧ-диапазоне. Все эти и ряд других соображений, пусть в несколько измененном и уточненном виде, не утратили значения на сегодняшний день. Фрелих теоретически проработал также один из возможных механизмов генерации колебаний клетками под воздействием внешних электромагнитных излучений. Он предположил, что механизм генерации колебаний клетками аналогичен работе регенеративного усилителя, подведенного на грань режима возбуждения. Поэтому достаточно очень малого внешнего сигнала (других случаев он не обсуждал), чтобы началась генерация когерентных колебаний и мощность этих колебаний приблизилась к насыщению.

Колебания по Г. Фрелиху [91] связаны с сильным взаимодействием поляризационных волн в определенной полосе, лежащей в области частот порядка 10^{11} Гц, с тепловым резервуаром и обеспечивается притоком энергии от метаболических источников. При этом в биологических системах с низкочастотными коллективными колебаниями создаются благоприятные условия для явлений типа бозе — эйнштейновской конденсации, в ходе которой происходит перераспределение энергии между различными степенями свободы и концентрация в низкочастотных видах колебаний. Конденсация определяет возможность целенаправленного конформационного превращения. Доказать наличие именно такого механизма генерации Г. Фрелих не мог (см. ниже). К тому же в период, когда им была выдвинута гипотеза, роль когерентных колебаний для функционирования клетки, а следовательно, и их необходимость для последней не были известны. Лишь в одной из поздних работ [21] он осторожно предполагает, что биологические системы «сами как-

то используют излучения в обсуждаемом диапазоне частот, и поэтому чувствительны к соответствующим излучениям». Соответственно при разработке гипотезы не ставились и не решались вопросы, связанные с различной реакцией организмов на излучение в зависимости от исходного состояния организма и его отклонения от нормы; не ставились и не решались вопросы, связанные с многообразием спектров, генерируемых живыми организмами в тех или иных случаях; не ставились и не решались вопросы о значении для организма степени когерентности генерируемых сигналов, а также множество других вопросов, лежащих в основе изучения проблемы сегодня, когда требуются ответы на конкретные вопросы, связанные с практикой применения КВЧ-воздействий.

В какой мере ее можно приспособить для решения возникших впоследствии вопросов, неясно. Вероятно, проще основывать теоретическое построение механизмов действия, отталкиваясь от модельных представлений, соответствующих результатам экспериментальных исследований.

В этой связи представляет интерес многолетняя дискуссия между Г. Фрелихом, М. А. Лившицем и другими сторонниками их взглядов [90—93]. Дело в том, что для описания механизма возбуждения когерентных колебаний в клетках Г. Фрелих предлагает [94] кинетическое уравнение, в которое включены члены второго порядка («двухквантовые» члены), характеризующие перераспределение энергии между разными колебаниями в результате взаимодействия с термостатом. Лившиц считает, что «двухквантовые» члены записаны в уравнении Г. Фрелиха не полностью. А если устранить это упущение, то разобранный Г. Фрелихом механизм возбуждения когерентных колебаний работать не будет.

Возражая М. А. Лившицу, Г. Фрелих пишет, что «необычные физические свойства биологических систем, развитые длительной эволюцией, не могут быть предсказаны с помощью простых модельных расчетов, а требуют непосредственного согласования с экспериментом».

Можно ли сделать выбор между этими взаимоисключающими точками зрения?

На первый взгляд, экспериментальное выявление генерации клетками когерентных колебаний (см. § 2.1) говорит в пользу правильности кинетического уравнения Г. Фрелиха. Но такой вывод был бы нелогичным: генерация может быть связана не с тем механизмом, который отражает это уравнение. А в этом случае предмет дискуссии окажется в стороне от реальной проблемы. Единственным же средством выделения истинного механизма среди гипотетически возможных является установление его соответствия всей совокупности неизвестных фактов (в том числе фактов, изложенных выше).

Поэтому точка зрения авторов будет сформулирована в подпараграфе 2.2.7 после завершения обсуждения литературных данных.

Гипотеза Г. Фрелиха явилась не единственным подходом к проблеме, хотя и исходящим из представления о существовании в жи-

вых организмах когерентных колебаний, но не объясняющих закономерностей и зависимостей, характеризующих взаимодействия ЭМИ с живыми организмами (см. гл. 1 и § 2.1). Например, в [85] излагается выдвинутая ее автором в 1984 г. гипотеза, основанная на предположении о существовании пока не идентифицированной молекулы, которая участвует в промежуточных стадиях развития биохимических реакций и находится в триплетном состоянии, при котором два непарных электрона взаимодействуют своими магнитными полями. Молекула имеет три возможных исходных состояния, каждому из которых соответствует свой ход химических реакций. Предполагается, что на исходное состояние можно влиять КВЧ-накачкой, регулируя при этом ход процессов. Естественно, конкретных ответов на реальные проблемы использования КВЧ-сигналов в медицине и биологии эта гипотеза также дать не может, хотя бы в силу неидентифицированности молекул, существование которых заложено в ее основу.

Идеи Г. Фрелиха о когерентном возбуждении в биологических системах перекликаются с результатами выполненных советским физиком А. С. Давыдовым теоретических исследований коллективных возбужденных состояний в одномерных молекулярных структурах [119]. Давыдов показал, что в одномерных молекулярных структурах и в α -спиральных белковых молекулах возможны коллективные возбужденные состояния в виде солитонов. Солитоны (уединенные импульсы) представляют собой суперпозицию вибрационных колебаний в пептидных группах белковых молекул. Они перемещаются вдоль молекулы со скоростью, меньшей скорости звука. Поэтому энергия на излучение фононов не затрачивается. Можно показать, что если возможно когерентное возбуждение по Фрелиху, то одновременно создаются условия и для возбуждения солитонов по Давыдову. Возможность использования представлений о солитонах применительно к возбуждению клеточных мембран будет изложена ниже (подпараграф 2.2.8).

Перекликается с гипотезой Г. Фрелиха и гипотеза «белок — машина» советских физиков Д. С. Чернавского, Ю. И. Хургина и С. Э. Шноля [10]. В соответствии с этой гипотезой возможно запасание электромагнитной энергии в форме напряженного механического метастабильного состояния биомакромолекулы, которое является частным случаем когерентного состояния. Однако попыток объяснения всех выявленных закономерностей и особенностей взаимодействия ЭМИ с живыми организмами на основе этой, безусловной, интересной гипотезы, по-видимому, также не делалось (во всяком случае, авторам соответствующие работы неизвестны).

Наконец, можно упомянуть о нередко высказываемом предположении, что зависимости, подобные изображенной на рис. 1.3, рис. 2.2 и рис. 2.3, объясняются наличием отражений в высокочастотном тракте между генератором и облучаемым объектом. Однако данные экспериментов с этим предположением не согласуются. Например, зависимость, изображенная на рис. 2.2, соответствовала бы длине тракта порядка 10 м; невозможно было бы объяснить

отсутствие связи между наблюдаемой частотной характеристикой и параметрами антенных систем. Однако сходство наблюдаемых характеристик с эффектами в длинных линиях все-таки неслучайно. Просто наблюдаемые на рис. 1.3, рис. 2.2 и рис. 2.3 характеристики определяются наличием стоячих волн не во внешнем тракте, а в липидной мембране. Характеристики последних были проанализированы в подпараграфе 2.2.3.

2.2.5. ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО КВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОЦЕСС ВОЗБУЖДЕНИЯ АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В КЛЕТКАХ; ХАРАКТЕР ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КЛЕТОК

В гл. 1 и в § 2.1 излагались общие соображения и данные экспериментов, относящихся к влиянию воздействий ЭМИ на функционирование организмов и роли белковых подструктур в реализации такого влияния. Обсуждение процесса формирования подструктур относится скорее к исследованию механизма использования когерентных волн КВЧ-диапазона для организации процесса управления в клетках и будет подробно обсуждаться в гл. 3. Здесь же попытаемся дать начальное представление о возможности возбуждения колебаний в клетках с помощью падающих извне на клетку электромагнитных волн (более подробно этот вопрос можно будет изложить в гл. 4, когда его изложение будет подготовлено разбором других необходимых для его освещения материалов).

Принципиальная сложность ответа на данный вопрос заключается в том, что средний размер клеток составляет несколько микрометров, т. е. приблизительно в тысячу раз меньше длины волн ЭМИ. При таком соотношении в размерах электромагнитные волны не могут сами оказать существенно различных воздействий на разные элементы клетки (что является необходимым условием для управления внутриклеточными процессами). Предварительно они должны трансформироваться в акустоэлектрические волны, длины которых по сравнению с размерами клетки ничтожно малы. А для такой трансформации необходимо наличие трансформирующей системы. В работе [137] показано, что такой трансформирующей системой может явиться периодическая решетка, элементы которой смещены друг относительно друга на малое расстояние, в рассматриваемом случае равное длине акустоэлектрической волны Λ . Но для эффективной трансформации энергии этого условия недостаточно. Примером эффективно работающей системы связи с волнами в окружающей среде являются применяемые в радиотехнике антенные решетки, состоящие из четвертьволновых элементов, смещенных друг относительно друга на расстояние, равное длине волны.

В данном случае, поскольку обсуждается связь клетки с присущими ей малыми размерами с окружающим пространством, речь может идти только об антенной решетке, состоящей из элементов,

длина которых имеет порядок $\Lambda/4$, смещенных друг относительно друга на Λ . Трансформирующие свойства такой системы, как уже было сказано выше, будут обсуждены в гл. 4. Здесь же приведем в основном качественное объяснение. При удалении от поверхности мембраны амплитуда поля снижается пропорционально $\exp(-2\pi h_i/\Lambda)$, где h_i — удаление. Поэтому длина элементов порядка $\Lambda/4$ достаточна для того, чтобы вывести поле в области решетки за зону, где оно резко снижается по сравнению со значением на мембране. При расстояниях между элементами решетки, равных Λ , фаза поля на концах всех элементов одинакова, что соответствует распределению поля электромагнитных волн на участке, занимаемом клеткой, и содействует возбуждению последних, естественно, лишь в той мере, в которой на столь малом участке можно осуществить согласование волн. Но полного согласования в данном случае и не требуется: речь идет лишь о синхронизации внешним полем генерируемых клеткой колебаний [40].

Более существенным является другой вопрос: а образуются ли на поверхности мембран описанные антенные решетки? Ответ на этот вопрос дали морфологические исследования [53], в ходе которых было зафиксировано образование на мембранах, претерпевших внешние воздействия клеток (нейронов) систем, выступов (септ), удаленных друг от друга на расстояния, составляющие 100 ... 120 Å, близкие к расчетным значениям длин акустоэлектрических волн средней части КВЧ-диапазона [53, 76], высота этих выступов также близка расчетной. Эти структуры являются временными, т. е. их возникновение является ответом на внешние воздействия, после же нормализации условий они постепенно расформируются.

Из приведенных в [53] и [67] фотографий видно, что описанные временные структуры образуются не по всему периметру мембраны, а в точках их искривлений или в узких зазорах между мембранами, т. е. в областях концентрации поля акустоэлектрических волн (подробно этот вопрос освещается в гл. 3). Факторы, нарушающие функционирование клеток, во многих случаях приводят к деформации мембран, что, по-видимому, кладет начало образованию этих временных структур, если они образуются полем генерируемых самой клеткой акустоэлектрических колебаний. В то же время, как было показано в § 2.1, усиление поля в мембране при воздействии на них извне ЭМИ приводит к ускорению формирования не только элементов связи клеток с внешним по отношению к ним пространством, но и к образованию или к ускорению образования подструктур, обеспечивающих генерацию клетками когерентных сигналов и после прекращения внешнего воздействия (см. гл. 3, а также подпараграф 2.2.7).

Нужно заметить, что усилению связи с внешним пространством содействуют и такие нарушающие симметрию деформации клеток, которые не приводят еще к образованию описанных временных структур, но такая связь должна быть более слабой. Это, вероятно, определяет отклик клеток на многократные воздействия внеш-

ним КВЧ-облучением в случаях, когда ответа на однократные воздействия выявить не удастся [24]. Более строго этот вопрос трактуется в гл. 3, где отмечается роль электромагнитных колебаний в возбуждении белковых молекул, содействующем созданию условий для выделения из шумовых волн мембраны колебаний с частотой, равной частоте внешнего воздействия.

В подпараграфе 2.1.3 уже отмечалась возможность усиления связи клеток с внешним пространством посредством добавления в питательную среду длинноволнистых молекул (например, молекул полиэтиленоксида). Это усиление оказывается наибольшим при концентрации длинноволнистых молекул, соответствующей их расположению вблизи поверхности плазматической мембраны на расстояниях Λ друг от друга [44]. Природа происходящего при этом усиления связи из сказанного выше понятна.

В [40] обсуждены природа и характер влияния внешних КВЧ-излучений малой интенсивности на клетки. Это влияние связывается, как уже отмечалось, с синхронизацией когерентными излучениями низкой интенсивности колебательных процессов в клетках. Синхронизация определяется формированием соответствующих частоте внешнего сигнала подструктур. Синхронизация же приводит к усилению колебаний, определяемому, в частности, когерентным сложением ранее расфазированных или возбужденных на разных частотах источников колебаний и образованием высокоэффективного управляющего сигнала, способного определенным образом сориентировать или переориентировать процессы в клетках (см. подпараграф 2.2.3).

Поскольку через мембрану осуществляется ионный и молекулярный транспорт, обеспечивающий жизнедеятельность клетки, и мембрана принимает активное участие в его регулировании [49], в [40] высказывается предположение, что внешнее КВЧ-излучение, синхронизуя возбуждаемые в мембранах колебания, должно оказывать на него влияние.

Существенно подчеркнуть, что внешнее КВЧ-излучение является основным источником энергии для когерентных колебаний в клетках только в период их нарастания (пока не сформировались подструктуры). Вопросу преобразования хаотической энергии метаболизма в энергию когерентных колебаний посвящен подпараграф 2.2.7. Настоящий же подпараграф заключим следующим замечанием.

Время от времени появляются сообщения о резонансном физиологическом действии звука в воспринимаемом человеческим ухом диапазоне частот (до 20 кГц) и связи этого действия с преобразованием акустических колебаний в электромагнитные [152]. По-видимому, эти явления (их физические аспекты) также связаны с возбуждением акустоэлектрических колебаний, но (как показывают количественные оценки) уже не в отдельных клетках, а в органах, размер которых имеет порядок 0,1 м. Колебания органа в целом не могут не отражаться и на функционировании входящих

в него клеток. Но, естественно, это влияние не может быть столь дифференцированным, как действие ЭМИ, способных по-разному влиять на различные клетки и даже субклеточные элементы.

2.2.6. ВОЗБУЖДЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ БЕЛКОВЫХ МОЛЕКУЛ В КЛЕТКЕ

Изложенные в § 2.1 данные, относящиеся к экспериментальным работам, говорят о том, что живая клетка как автономная система управляется сигналами, генерируемыми самой клеткой. Большую роль в этом процессе, по-видимому, играют белковые молекулы. Вопросам возбуждения колебаний в белковых молекулах в литературе уделялось достаточно много внимания как в эксперименте, так и в теории.

Наиболее детальные экспериментальные исследования [96—100] были проведены под руководством Н. П. Диденко на специально созданной для этого установке, позволяющей исследовать спектры, полученные методом ядерной γ -резонансной спектроскопии (мессбауэровской спектроскопии) — метода изучения взаимодействия ядра с внутренними электрическими и магнитными полями, основанного на эффектах испускания или поглощения γ -квантов атомными ядрами. Метод обладает исключительно высокой чувствительностью (достигающей 10^{-12} эВ). Установка позволяла проводить разнообразные измерения в условиях КВЧ-облучения как кристаллических, так и лиофильных образцов гемоглобина, в том числе в сильном магнитном поле сверхпроводящих соленоидов, при изменении температуры образцов от комнатной до гелиевой. В качестве белка использовался гемоглобин, хотя результаты измерения обладают, вероятно, большой общностью. Как показали измерения, КВЧ-излучение оказывает резонансное действие на молекулы гемоглобина, проявляющееся в изменениях мессбауэровского спектра; ширина резонансных полос при комнатной температуре составляет всего 3 МГц. Было выявлено несколько серий резонансных полос. На основе анализа изменений в мессбауэровских спектрах Н. П. Диденко сделала вывод, что при КВЧ-облучении молекулы гемоглобина переходят в новые конформационные состояния, отличающиеся распределением заряда электронов и градиентом электрического поля на ядре железа; при этом на резонансных частотах перестраивается третичная структура в глобиновой части молекулы, изменяются ее динамические свойства.

Этим вопросам посвящены и многочисленные теоретические исследования последнего времени. Среди них можно отметить работы Фрауэнфельдера и его сотрудников [100—101], развивших модель динамического поведения белков, согласно которой молекулы совершают флуктуации, переходя из одного конформационного состояния в другое, причем многие из этих состояний энергетически очень близки друг другу. При пониженных температурах (температуре жидкого азота и еще более низких) вероятность таких переходов, связанных с преодолением потенциальных барьеров, снижается пропорционально $\exp(-E_{\pi}/kT)$, где E_{π} — энергия перехо-

да [104]. При комнатной температуре распределение большинства подсистем близко к тепловому равновесию. Конформационная подвижность важна для выполнения биомолекулами их биологической функции. Соответственно близость к тепловому равновесию приводит к некоторому усредненному распределению этих функций между молекулами.

КВЧ-сигнал способен синхронизировать колебания, выделяя определенные конформационные состояния у тех молекул, у которых имеются резонансные частоты, близкие к частоте синхронизирующего сигнала¹. Возможность возбуждения колебаний в белковых молекулах электромагнитным сигналом определяется тем, что ионы в составе белковых молекул распределены в них неравномерно, благодаря чему эти молекулы обладают значительными дипольными моментами [66]. В соответствии с развитой в [105] моделью биомакромолекул на разных частотах КВЧ-диапазона поле взаимодействует с разными их участками. Особенно эффективное взаимодействие поля с белковыми молекулами должно иметь место вблизи мембран, где КВЧ-волны замедлены и длины их равны акустическим (см. подпараграф 2.2.3), длины которых соизмерима с размерами белковой молекулы. Как отмечалось в подпараграфе 2.1.5, при воздействии электрического поля акустоэлектрических волн белковые молекулы стягиваются к поверхности мембран, причем характер процесса стягивания к внутренней поверхности мембраны аналогичен характеру процесса стягивания белковых молекул к поверхности [53] (подробно процесс стягивания белковых молекул к поверхности мембраны разбирается в гл. 3). В результате на поверхности мембран могут образовываться подструктуры. Входящие в подструктуры белковые молекулы, совершающие колебания за счет энергии метаболизма, могут передавать ее мембране, возбуждая последнюю.

Диденко увязывает результаты, полученные при исследовании действия КВЧ-сигнала на мессбауэровские спектры белковых молекул, с возбуждением в последних на резонансных частотах акустических колебаний. Добротность Q_a молекул гемоглобина как акустических резонаторов, по сделанной ею (на основе аналогии с полимерами) оценке, достаточно велика — около 10^4 . Величина $hfQ_a \gg kT$, поэтому в таких молекулах могут иметь место эффекты накопления энергии многих квантов, что позволяет выделить действие даже очень слабых когерентных сигналов на фоне шумов.

2.2.7. МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ КЛЕТКАМИ КОГЕРЕНТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Материалы предыдущих подпараграфов позволяют подойти к изложению соображений о механизмах автогенерации когерентных колебаний в клетке. Это — важнейший вопрос, поскольку, как уже

¹ Заметим, что, поскольку длина большинства белковых молекул лежит между 4 и 20 нм [150], низшая гармоника акустических колебаний основной части этих молекул соответствует КВЧ-диапазону.

отмечалось в подпараграфе 2.2.1, действие внешних сигналов на клетки эффективно лишь в той мере, в которой оно имитирует их автоколебания.

Последовательность процессов возбуждения автоколебаний рационально, вероятно, изложить таким образом.

В условиях, когда вследствие тех или иных воздействий на клетку, приводящих к аномалиям в функционировании, ее симметрия нарушается, создаются условия преимущественного возбуждения в клеточных мембранах определенных резонансных частот (см. подпараграф 2.2.5 и гл. 3). Это приводит, с одной стороны, к синхронизации колебаний тех адгезированных с мембраной белковых молекул, резонансные частоты которых совпадают или близки к преимущественно возбуждаемым в мембранах частотам, а с другой — к стягиванию к мембране этих белковых молекул.

Синхронизация и связанное с ней когерентное сложение колебаний обеспечивают повышение эффективности передачи энергии этих колебаний мембране и их излучение в окружающее пространство. В результате зависимость излучения от частоты становится существенно отличной от равновесного теплового излучения при температуре клетки: на резонансных частотах оно возрастает. Естественно, возрастание энергии излучения происходит за счет энергии метаболизма, компенсирующей повышение потерь энергии на излучение (а не за счет охлаждения клетки). Трансформация энергии происходит, по-видимому, следующим образом. Нарушение теплового равновесия за счет увеличения излучения на определенных резонансных частотах приводит к перераспределению энергии между белковыми молекулами, осуществляющемуся в процессе энергетического обмена между ними и направленному на восстановление равновесного состояния. Этот процесс связан с преимущественной передачей энергии молекулами, синхронизированными колебаниями мембран, так как излучение на их резонансных частотах превышает излучение на частотах колебаний других молекул. Сохранение температуры клетки обеспечивается снижением отвода энергии метаболизма во внешнее пространство.

Первое время после нарушения симметрии клетки, положившего начало генерации относительно интенсивных колебаний, число адгезированных с мембраной белковых молекул еще невелико по сравнению с таковым в периоды, когда белковые подструктуры успеют сформироваться (особенно, как это будет показано в гл. 3, на тех участках поверхности мембран, которые претерпели наиболее резкие искажения [53—67]). По мере увеличения числа адгезированных с мембраной молекул и формирования подструктуры резонансы становятся более острыми, возрастает энергия, передаваемая белковыми молекулами мембране и излучаемая в пространство, — энергия генерируемых клетками колебаний. Последние становятся когерентными.

Процесс нарастания мощности генерируемых когерентных колебаний неограничен. Ограничения связаны с нелинейностью процесса. В чем ее источник?

В § 2.1 обращалось внимание на то, что привлечение к образованию подструктур на мембранах более удаленных от поверхности белковых молекул требует экспоненциально возрастающих с расстоянием затрат энергии. Это неизбежно приводит к ограничению достижимой мощности колебаний, т. е. переходу к стационарной генерации. Чем больше уровень нарушений, тем к большим искажениям формы (вспучиваниям и втяжкам) мембраны он приводит, тем выше максимальный уровень генерируемых колебаний.

Реакция находящихся в состоянии устойчивого равновесия систем на возмущающие их (но не приводящие к необратимым изменениям) силы всегда сводится к уменьшению эффекта действия последних (принцип Ле-Шателье; применительно к живым организмам примерно тот же смысл вкладывается в понятие гомеостаза). В данном случае это означает, что действие генерируемых клеткой сигналов управления всегда сводится к восстановлению устойчивого состояния клеток, чем бы ни было вызвано его нарушение, или к максимально возможному снижению эффектов действия сил, нарушивших это состояние. (Характер процессов определяется как спектром генерируемых сигналов, так и локализацией вызвавших их нарушений.) Детальная проработка связанных с этим процессов требует создания и обоснования необходимых методов подхода. Некоторые из них в следующей главе анализируются довольно подробно.

Использование внешних КВЧ-сигналов тех же частот, которые при соответствующих нарушениях генерировались бы самим организмом, может ускорить процесс создания подструктур или сделать его более эффективным. Если подструктуры образовались под действием внешнего КВЧ-излучения на неискаженных мембранах нормальных клеток (такой процесс соответствует, например, воздействиям, описанным в подпараграфе 2.1.3), то они не могут существенно нарушить механически устойчивую правильную форму мембран; поэтому каких-либо легко выявляемых нарушений текущего функционирования не наблюдается. Если же подструктуры образуются на мембранах, имеющих искажения (вспучивания или втяжки) острой формы, действие белковых молекул на изменение форм мембран оказывается существенным и протекает быстро.

Это явление можно уподобить быстрому притуплению острий автокатодов под действием полной бомбардировки (см. также гл. 3). Поэтому, как уже неоднократно отмечалось выше, действие ЭМИ на клетки со сниженной функциональной активностью (например, на клетки больного организма) с характерными для них искажениями мембран может приводить к легко наблюдаемым изменениям их текущего функционирования.

Описанный процесс — это процесс системный, в котором участвуют и метаболизм, и белковые молекулы, и мембранная система, а если говорить о многоклеточных организмах (которых мы в настоящей главе не касались, чтобы не усложнять изложение), то

и организм в целом (естественно, разные его части в неодинаковой степени). Конечно, многие его стороны нуждаются в более глубокой проработке и будут уточняться.

2.2.8. ГЕНЕРАЦИЯ КЛЕТКАМИ КОГЕРЕНТНЫХ КОЛЕБАНИЙ И СОЛИТОНЫ

Солитоны, как уже отмечалось, — это структурно устойчивые волны, ведущие себя подобно частицам, сохраняя свою структуру неизменной при движении и столкновениях. Образование солитонов всегда связано с какими-то нелинейными явлениями.

Представление о солитонах оказалось плодотворным и в отношении биологических систем [119]. В частности, их удалось использовать для объяснения наблюдаемых в ИК-диапазоне (между 1200 и 6000 ГГц) рамановских спектров рассеяния лазерного излучения живыми бактериями [51].

Понятие солитона объединяет большой круг разнородных физических и даже математических явлений. Поэтому оно плодотворно лишь в случаях, когда удастся найти для него достаточно наглядную модель. Какой она может быть для рассматриваемых явлений?

Поскольку эти явления связаны с частотами, кванты энергии которых малы ($hf \ll kT$), наиболее вероятен подбор классического аналога. Представляется, что в качестве такого аналога могут быть использованы вихри-водовороты.

Разобранная генерация акустоэлектрических волн в замкнутой мембране очень напоминает такой вихрь. Здесь наглядно проявляются все признаки солитона: нелинейность — неизбежный спутник автоколебаний; малые размеры (по сравнению с размерами системы в целом), определяемые большим замедлением волн и их распространением по замкнутому контуру мембраны; топологическая устойчивость, определяемая формой мембраны, и т. п. Явление реализуемо для широкой области изменения параметров, с чем связана его воспроизводимость.

Сможет ли применение этого понятия внести что-то существенное в теорию и практику обсуждаемых явлений, покажет время.

МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВНУТРИКЛЕТОЧНЫМИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫМИ И ПРИСПОСОБИТЕЛЬНЫМИ ПРОЦЕССАМИ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕРИРУЕМЫХ КЛЕТКАМИ КОГЕРЕНТНЫХ ВОЛН; ОСНОВНЫЕ ГИПОТЕЗЫ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

3.1. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ УСТРАНЕНИИ ИСКАЖЕНИЙ КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАН¹

3.1.1 ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ

Разнообразных заболеваний и нарушений функционирования — бесчисленное множество. Поэтому в предыдущих главах возможность использования ЭМИ как терапевтического средства для устранения нарушений функционирования обосновывалась, в частности, тем, что многообразие действий ЭМИ (при использовании разных спектров) чрезвычайно велико, много больше многообразия медикаментозных средств.

Но столь же ли многообразны и «подходы» живой природы (действия которой имитируются при использовании ЭМИ) к устранению нарушений? Нет ли общности в приемах управления процессами устранения нарушений с помощью генерируемых клетками когерентных волн?

Поясним сущность поставленных вопросов примитивной, но очень наглядной аналогией. Для заворачивания различных по размерам болтов и гаек можно использовать разные ключи, но можно использовать и разводной ключ, расстояние между губками которого подстраивается под размер болта или гайки.

Не является ли многообразие спектров когерентных волн таким способом «подстройки» небольшого числа общих подходов к специфике на первый взгляд резко отличающихся друг от друга нарушений?

Как известно, общность используемых механизмов к разным, в том числе качественно отличающимся, объектам очень распространена в живой природе.

Во всяком случае, решение многих практических вопросов очень упростилось бы, если бы удалось показать, что подбором спектров ЭМИ можно обеспечить устранение различных нарушений форм клеток и хода происходящих в них биохимических реакций, выявить механизмы таких управляющих действий. Анализ этих вопросов посвящена настоящая глава.

При экспериментальном исследовании ультраструктурных аспектов памяти было показано, что процессы запоминания клетка-

¹ Исследования настоящего раздела выполнены совместно с Н. А. Савостьяновой.

ми воздействий на них связаны с образованием на клеточных мембранах белковых подструктур [53, 67]. В [132, 139] описана и проанализирована важная биологическая и медицинская роль этих подструктур, формирующихся под действием возбужденных в мембранах стоячих акустоэлектрических волн. При этом обращалось внимание на большие различия в размерах элементов подструктур: наибольшие размеры имеют элементы, формирующиеся на выступах искаженных мембран. В ходе восстановления функционирования после окончания воздействий, когда последние клетками «забываются», искажения мембран устраняются, белковые подструктуры расформируются и составляющие их белковые молекулы переходят в цитоплазму.

Указанные факты навели на мысль, что процессы нормализации функционирования связаны с образованием и расформированием подструктур, причем большую роль в этих процессах играет характер искажений мембран, возникающих под влиянием внешних воздействий на клетку. О наличии такой связи говорит, в частности, характер искажений клеток крови при различных заболеваниях [63].

В § 3.1 авторы делают попытку физически проанализировать и дать качественную и количественную оценку упомянутым явлениям для одной из простых форм искажений.

3.1.2. О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ ТОНКИХ ОБОЛОЧЕК К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАН

Клеточные мембраны представляют собой тонкие оболочки и к ним в принципе применима теория упругих тонких оболочек [140]. Однако отсутствие данных о схемах нагружения мембран и характере дефектов последних не позволяет в данном случае рассчитывать на большее, чем качественные оценки, которые тем не менее важны для понимания природы происходящих процессов.

В соответствии с упомянутой теорией [140] если сосредоточенная сила F_1 действует на сферическую оболочку радиуса R и толщины δ , то последняя прогнется на глубину $2h_1$ (рис. 3.1):

$$2h_1 = \frac{R^2 F_1}{9\pi^2 c^2 E_y \delta^5}. \quad (3.1)$$

Здесь E_y — модуль упругости; c — коэффициент пропорциональности, равный приблизительно 0,18. Применительно к тонким оболочкам $E_y = E_{\text{пов}}/\delta$, где $E_{\text{пов}}$ — модуль упругости растяжения оболочки (поверхности ее).

Для клеточных мембран согласно [48] $E_{\text{пов}} = 0,45$ Н/м; $\delta = 3 \times 10^{-9}$ м. Тогда для клеток с $R = 2,5 \cdot 10^{-6}$ м, прогибу $2h_1 = R$ будет соответствовать сила $F_1 \approx 10^{-10}$ Н.

При определенном прогибе деформации становятся пластическими, т. е. необратимыми. Это происходит, если напряжения в

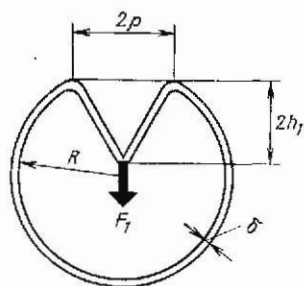


Рис. 3.1. Схематическое изображение резко деформированной клеточной мембраны

зависящий от геометрических характеристик мембран и характера их силового нагружения.

Заметим, что адгезия белковых молекул к поверхности мембраны и эффективное увеличение δ в ходе образования подструктур приводит к некоторому упрочнению мембран, что должно приводить к ограничению величины деформации (3.1).

3.1.3. РАЗЛИЧИЯ В БИОЛОГИЧЕСКОЙ РОЛИ УПРУГИХ И ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАН. ЭНЕРГЕТИКА ИХ УСТРАНЕНИЯ В ОРГАНИЗМЕ

Несмотря на многие общие черты приспособительных и восстановительных процессов, объединяемых в настоящее время общим термином «процессы адаптивного роста» [72], между ними существуют и очень важные принципиальные различия.

Если действие некоторого фактора на клетку является непродолжительным, а потом полностью снимается, то может идти речь о восстановлении исходного состояния, в частности о восстановлении формы мембран. Ведущие к этому процессы по существу являются восстановительными. Если же действие некоторого фактора на клетку, раз возникнув, длится долго (мерой длительности, по-видимому, следует считать время, соответствующее циклу наиболее продолжительных жизненных процессов одиночной клетки), то клетка может к нему только приспособиться, осуществив внутренние изменения, соответствующие достижению оптимума функционирования в новых условиях. При этом оптимуму соответствует состояние клетки, отражающее продолжающееся действие на нее нового фактора и, следовательно, отличное от исходного. Поэтому в соответствующих случаях речь может идти лишь о приспособительных процессах.

Как указанные различия между восстановительными и приспособительными процессами отражаются в характере деформаций клеточных мембран?

Если деформации упругие, то прекращение действия сил, искажающих форму мембран, сопровождается восстановлением формы последних, и при условии, что изменения функционирования связаны с искажением формы, деятельность клеток восстанавливается.

Механическая же сущность приспособительных процессов (когда действие сил, искажающих форму мембран, не прекращается)

сведется в значительной мере к максимальному снижению степени деформации, в частности, за счет описанных процессов упрочнения мембран подструктурами, образовавшимися на их поверхности.

Если деформация мембраны пластическая, то прекращение действия деформирующей силы не сопровождается исчезновением деформации. Но постепенно под действием ударов белковых молекул степень деформированности снижается; это восстановительный процесс.

Оценим силы, действующие на деформированную мембрану при ударах белковых молекул, притягиваемых к ней неоднородной электрической компонентой поля $E(z)$.

Сила F_2 , действующая на белковую молекулу в неоднородном электрическом поле у поверхности мембраны, равняется

$$F_2 \approx \frac{\partial}{\partial z} \tau(d \cdot E), \quad (3.2)$$

где d — дипольный момент молекулы; E — изменяющееся в зависимости от координаты z электрическое поле у поверхности мембраны.

В [139] на основании имеющихся экспериментальных данных было показано, что силы притяжения, под действием которых белковые молекулы покидают цитоплазму и притягиваются к мембране, определяются комбинацией постоянных полей поляризации мембран и переменных электрических полей акустоэлектрических волн (см. подробнее в подпараграфе 3.1.4).

Амплитуда переменных полей много меньше постоянного поля поляризации в мембране, имеющего порядок 10^7 В/м [49]. Поэтому на силу притяжения непосредственно у поверхности мембраны в основном влияет поле поляризации. Его влияние на подошедшие к мембране белковые молекулы связано с тем, что у своих границ мембраны неоднородны, здесь имеются динамические дефекты, которые могут быть «потенциальными» за счет менее плотной упаковки цепей граничных молекул; в эти области могут внедряться ударяющиеся о мембрану молекулы [48].

Данные о характере изменения полей поляризации $\partial E(z)/\partial z$ в таких областях отсутствуют; также отсутствуют и данные о средней глубине внедрения белковых молекул в мембрану до их полной остановки. Но для оценки можно принять, что изменение поля поляризации $\partial E(z)/\partial z$ в области, куда внедряются белковые молекулы, приблизительно постоянно, а глубина неоднородного слоя, в котором в основном происходит быстрое изменение поля $E(z)$ от нулевого значения вне мембраны до 10^7 В/м в ее однородной части и осуществляется торможение молекул, составляет в среднем около 3 Å. Тогда $\partial E(z)/\partial z \approx 10^7/3 \cdot 10^{-10} \approx 0,3 \cdot 10^{17}$ В/м². Постоянная составляющая входящего в (3.2) дипольного момента d для белковых молекул согласно [65] имеет порядок $10^2 \dots 10^3$ дебай, т. е. приблизительно равно 10^{-27} Кл·м. Следовательно, F_2

имеет порядок $10^{-10} \dots 10^{-11}$ Н, т. е. очень близка по порядку величины рассмотренной выше силе F_1 , деформирующей мембрану; уточнения использованных для оценки величин вряд ли смогут существенно повлиять на ее порядок. Величина F_2 в период торможения молекул Δt при принятых допущениях сохраняется приблизительно постоянной и равняется реакции мембраны $F_2 \approx F$.

Следовательно, силы, связанные с ударами белковых молекул о мембрану, могут в значительной мере обеспечить как стабилизацию формы мембраны при приспособительных процессах, так и частичное устранение пластических деформаций мембраны¹, порождающих восстановительные процессы в клетках. Полностью пластические деформации не устраняются, так как связаны с необратимыми молекулярными перестройками и нарушенным межмолекулярными связями. Возможно, именно с сохранением остаточных деформаций и передачей их последующим поколениям клеток связано то обстоятельство [124], что при повторных инвазиях (проникновениях) в организм чужеродных антигенов клетки иммунной системы могут быстро мобилизоваться для организации иммунного ответа; остаточные деформации являются при этом очагами зарождения вновь образующихся подструктур [22, 139].

В то же время постепенное накопление в ходе последовательных делений клеток следов от не полностью устраненных пластических деформаций мембран, вероятно, является одним из основных факторов старения, определяющего то число делений, за которым нормальное функционирование клеток нарушается. Дело в том, что мембрана — это многомодовая (с очень большим числом мод) резонансная система, и увеличение числа дефектов не может не влиять на снижение когерентности возбуждаемых в мембране колебаний, а с этим связано возрастание затрат энергии, необходимой для управления полноценным функционированием [87].

Выше были рассмотрены силы, с которыми отдельные белковые молекулы воздействуют на мембраны при соударениях с ними. Естественно, скорость или степень ликвидации деформации зависит от потока белковых молекул, воздействующих на мембрану (вопросы формирования такого потока будут обсуждаться ниже). Данный же подпараграф целесообразно заключить оценкой энергии, сообщаемой мембране при ударе белковой молекулы о ее поверхность.

Эта энергия равняется (при сформулированных выше упрощающих предположениях) произведению силы F (равной $10^{-10} \dots 10^{-11}$ Н) на расстояние торможения (около 3 Å), т. е. составляет $3 \cdot 10^{-20} \dots 3 \cdot 10^{-21}$ Дж. Сопоставляя порядок этой величины с kT (около $4 \cdot 10^{-21}$ Дж), приходим к выводу, что в конечном итоге при ударе о мембрану белковые молекулы передают ей энергию,

¹ Акустоэлектрические волны, вероятно, со всех сторон «обтекают» пластически деформированный участок.

равную средней кинетической энергии своего теплового движения¹.

Хотя выше был рассмотрен только случай торможения в мембране белковых молекул, подошедших к ней у неоднородного ее участка и обладающих нулевой начальной скоростью, порядок передаваемой мембране энергии не изменится и в других возможных случаях, например при неупругом ударе о мембрану на участках с плотной структурой молекул с ненулевой тепловой скоростью (подробно другие случаи разбираться здесь не будут). Заметим только, что явление можно уподобить давлению газа на стенки сосуда, но в условиях, когда благодаря описываемым ниже процессам управления давления на различные участки наружной и внутренней поверхности деформированных мембран существенно различаются.

3.1.4. ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ ДЕФОРМАЦИИ МЕМБРАН И ИХ РОЛЬ В УПРАВЛЕНИИ ПРИСПОСОБИТЕЛЬНЫМИ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Для расчета полей вблизи поверхности мембраны при их резких деформациях используем представление о поле, образованном суперпозицией (наложением) полей отдельных вибраторов, образующих замедляющую систему. В плоских недеформированных замедляющих системах такое представление дает результирующее поле на поверхности, равное сумме полей расположенных на этой поверхности вибраторов, а на достаточном удалении от поверхности, где суммирующиеся противофазные поля имеют почти одинаковые амплитуды, — нулевое результирующее поле.

Рассмотрим это представление более подробно применительно к клеточным мембранам, в которых скорость распространения волн приблизительно в 10^6 меньше скорости распространения электромагнитных волн в вакууме [44]. При этом полуволновые вибраторы, образующие замедляющую систему, будем рассматривать как ламбертовские излучатели, для которых диаграмма направления излучения описывается формулой (см. рис. 3.2):

$$I = I_0 \cos \alpha, \quad (3.3)$$

где I — сила света (в более общем случае интенсивность излучения) в направлении под углом α к нормали к поверхности источника излучения; I_0 — сила света при $\alpha = 0$.

Начнем с анализа плоской недеформированной мембраны. Изменение поля будем оценивать в области между $h=0$ и $h=\Lambda/\pi$, где Λ — длина замедленной волны; h — расстояние от плоской

¹ Вероятно, напряженность поля на мембране (10^7 В/м) в значительной мере определялась жизненной важностью описанного процесса для функционирования организма.

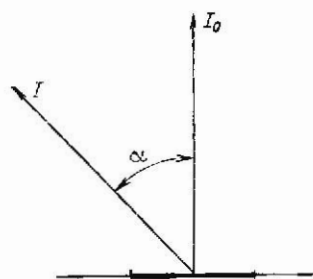


Рис. 3.2. Пояснение обозначений, используемых при расчете светимости излучателей

поверхности замедляющей системы. В этой области в соответствии с принятым в литературе приближением

$$E = E_0 \exp(-2\pi h/\Lambda) \quad (3.4)$$

напряженность поля снижается в e^2 раз.

При анализе мысленно выделим один из вибраторов (назовем его основным) и будем рассматривать поле в плоскости, перпендикулярной плоскости этого вибратора (обозначим ее β). При $h \leq \Lambda/\pi$ излучение от других вибраторов входит в рассматриваемую плоскость под углами $\alpha \geq \arctg(\pi/2)$, т. е. $\alpha \geq 1$. При этом, как можно показать, существенный вклад в суммарное поле в плоскости β вносят только основной и ближайшие к нему вибраторы (по одному с каждой стороны).

Поскольку как освещенность поверхности, так и светимость источника излучения пропорциональны $\cos \alpha$ (рис. 3.3), то интенсивность излучения каждого из ближайших вибраторов в рассматриваемой плоскости пропорциональна $\cos^2 \alpha$, а напряженность вносимой ими компоненты поля (в случае когерентного излучения) пропорциональна $\cos \alpha$ [141]. В соответствии с изложенным для случая, когда картина полей в плоскости, перпендикулярной

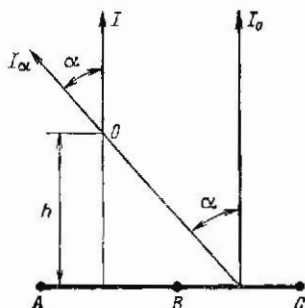


Рис. 3.3. Пояснение обозначений, используемых при расчете освещенности, получаемой от ламбертовского излучателя:

I_0 — светимость вибратора ВС в направлении, перпендикулярном поверхности мембраны; I_α — светимость вибратора ВС в направлении α ; I — освещенность поверхности, проходящей через точку O параллельно мембране, определяемая совместным излучением основного и боковых вибраторов; h — расстояние от поверхности мембраны до точки O

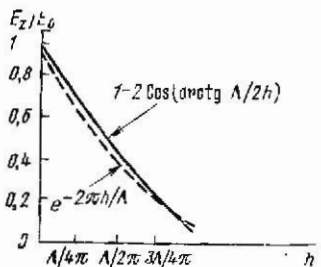


Рис. 3.4. Зависимость отношения E_z/E_0 напряженности поля плоской цепочки ламбертовских излучателей от расстояния до плоскости h : штриховой линией показана кривая, соответствующая принятому экспоненциальному приближению

плоскости рисунка, неизменна, изменение суммарного поля E_z в плоскости β по сравнению с полем в плоскости системы E_0

$$E_z/E_0 \approx 1 - 2 \cos(\arctg \Lambda/2h); \quad (3.5)$$

график этой функции приведен на рис. 3.4.

Хотя результаты расчета по (3.5) нетрудно, уточнив, еще более приблизить к принятому приближению (3.4), при оценочном расчете связанное с этим усложнение формулы было бы нецелесообразным.

В рассмотренном приближении можно оценить, как изменяется поле в ближней зоне при остром вспучивании мембраны (см. рис. 3.5).

Например, при $h = \Lambda/4\pi$ изгиб на угол $\gamma = \arctg(1/\pi) = 0,31$ приводит к снижению до нуля корректирующего члена, учитывающего поле боковых вибраторов в (3.5); в результате поле в плоскости β возрастает на $1/3$. Аналогично при $h = \Lambda/2\pi$ поле в этой плоскости возрастает приблизительно в 2,5 раза. В общем случае изгиб на угол γ приводит к увеличению поля на расстоянии $h = \Lambda \operatorname{tg}(\gamma/4)$ в $\exp(\pi \operatorname{tg} \gamma/2)$ раз и приближению его значения к значению поля на поверхности основного вибратора. График, показывающий характер возрастания расстояния h , на котором поле приближается к его значению в плоскости основного вибратора, в зависимости от γ , представлен на рис. 3.6.

Возрастание глубины проникновения переменного электрического поля в цитоплазму приводит к росту числа белковых молекул, притягиваемых этим полем к мембране, что объясняет наблюдаемое при ультраструктурных исследованиях [53, 67] увеличение размеров элементов подструктур в области резких искажений формы мембраны.

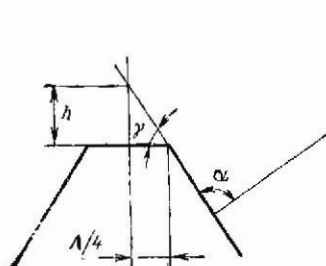


Рис. 3.5. Схематическое изображение вспучивания мембраны с обозначениями, используемыми в оценочном расчете

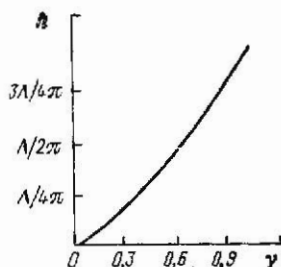


Рис. 3.6. Изменение наибольшего расстояния h от поверхности мембраны в месте ее максимального вспучивания до поверхности, на которой амплитуда поля еще сохраняет величину, равную амплитуде поля на поверхности вибратора

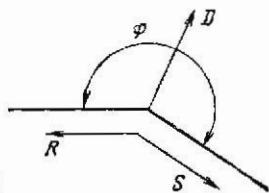


Рис. 3.7. Схема, поясняющая обозначения в формуле (3.6)

Естественно, рассмотренное приближение справедливо только в зоне, непосредственно примыкающей к поверхности мембраны и имеющей ширину меньше $\Lambda/4$ (см. рис. 3.4 и 3.6). На более далеких расстояниях нужно оценивать поля, связанные с излучением волн в окружающее пространство. Можно показать [138], что отношение излученной энергии к падающей (обозначим ее D^2) при изгибе мембраны под углом φ (рис. 3.7) составляет

$$D^2 = 1 - R^2 - S^2 = 1 - 2 \operatorname{sh}^2 (\pi \xi / \varphi) \times \\ \times \frac{\operatorname{ch}^2 (\pi \xi / \varphi) + \cos^2 (\pi^2 / \varphi)}{\operatorname{ch}^2 (\pi \xi / \varphi) - \cos^2 (\pi^2 / \varphi)}, \quad (3.6)$$

где $\xi = 1/|V\varepsilon|$, R и S — соответственно коэффициенты отражения и прохождения, ε — диэлектрическая проницаемость мембраны.

Излученные волны трансформируются из акустоэлектрических в электромагнитные, длина волны которых $\lambda \gg \Lambda$. Поэтому излучение приводит к синхронизации частоты колебаний расположенных поблизости диполей белковых молекул независимо от их точной дислокации. Естественно, синхронизируются лишь те диполи, одна из резонансных частот которых близка частоте ω синхронизирующих колебаний — частоте распространяющейся по мембране акустоэлектрической волны. Непосредственно у поверхности мембраны синхронизированные по частоте колебаний диполи белковых молекул взаимодействуют с полем стоячей акустоэлектрической волны, амплитуда которой быстро снижается при удалении от поверхности мембраны [128]. Изменение этого поля во времени и вдоль поверхности мембраны описывается известным выражением

$$E \sim \sin(\omega t) \cos(2\pi l_{\text{прод}}/\Lambda),$$

где $l_{\text{прод}}$ — текущая координата вдоль поверхности мембраны. В соответствии со сказанным переменная составляющая силы, притягивающей белковые молекулы к мембране,

$$F_{\sim} \sim \sin^2(\omega t) \cos(2\pi l_{\text{прод}}/\Lambda). \quad (3.7)$$

У самой поверхности мембраны она суммируется с оцененной в подпараграфе 3.1.3 постоянной (во времени) составляющей силы притяжения $F_{\sim}$, обусловленной полем поляризации мембраны и постоянной составляющей дипольного момента белковых молекул. Суммарная сила $F_{\Sigma} = F_{\sim} + F_{\sim}$.

Из (3.7) видно, что пространственный период изменения вдоль мембраны силы, притягивающей белковые молекулы к поверхности мембраны, составляет приблизительно Λ (а не $\Lambda/2$, как в стоячей волне). Соответственно и элементы белковых подструктур на мембране смещены друг относительно друга на Λ , что очень важно, когда речь идет об излучении во внешнее пространство или о приеме электромагнитных волн той же частоты извне [137]. При этом, поскольку, как было показано выше, в местах острых искажений формы мембраны амплитуды полей у их поверхности возрастают, бомбардирующие потоки наиболее интенсивно воз-

действуют именно на искаженные участки. Это определяет процесс постепенной ликвидации этих искажений.

Заметим, что внешнее КВЧ-излучение на резонансной частоте мембраны оказывает действие, аналогичное описанному: синхронизирует колебания белковых молекул независимо от их локализации и возбуждает стоячие волны в мембранах. Впрочем, наличие синхронно колеблющихся диполей белковых молекул само создает условия для выделения из шумовых волн в мембране тех, частота которых совпадает с частотой колебаний диполей, и их амплитуда нарастает. В результате подструктуры могут образовываться на неискаженных по форме мембранах, что позволит приспособить функционирование к не наступившим еще неблагоприятным условиям [139] (см. также § 2.2).

В описанных здесь и в подпараграфе 3.1.3 процессах наглядно проявляется роль как внешних управляющих, так и внутренних энергетических процессов в организме. Управление осуществляется с помощью слабых переменных когерентных полей вне мембраны. Оно определяет расположение элементов подструктур, создание условий для генерации когерентных колебаний (процессы возбуждения генерации описаны в [144, 139] и в предыдущей главе), формирование наиболее плотных потоков белковых молекул в областях, где требуется использование их энергетического действия. Накопление малых направленных смещений происходит под уровнем шумов (на фоне броуновского движения). Само же энергетическое действие (в данном случае — использование кинетической энергии белковых молекул для изменения формы мембран и возвращение ее к норме) реализуется при передаче мембране кинетической энергии молекул в ходе их торможения в ее липидном слое.

3.1.5. ВОЗБУЖДЕНИЕ ГЕНЕРАЦИИ КОГЕРЕНТНЫХ АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ ДЕФОРМАЦИИ МЕМБРАН

В предыдущей главе при анализе механизма генерации клетками когерентных колебаний отмечалось, что возбуждение интенсивных когерентных колебаний может инициироваться отклонением от нормы, связанным с резкими деформациями их мембран. При этом отмечалось также, что такие деформации связаны с появлением преимущественных условий для возбуждения отдельных резонансных частот из большого числа собственных частот мембран. Однако детально этот важный вопрос не анализировался.

Действительно, достаточно обратить внимание на характер деформации мембран клеток крови при различных заболеваниях [63], чтобы установить, что часто резкие деформации одиночны; многочисленные деформации, регулярно распределенные по поверхности мембраны, относительно редки. Следовательно, если верно соображение о роли резких деформаций мембраны в возбуждении когерентных колебаний, то должна иметь место связь уже между одиночными деформациями и выделением преимуще-

ственных условий для возбуждения отдельных частот из спектра собственных резонансных частот мембраны, хотя, вероятно, разнообразие условий возбуждения может быть большим. В известной авторам литературе этот вопрос не рассматривался.

Проведенный в подпараграфе 3.1.4 анализ открывает, по-видимому, один из возможных подходов к его изучению. Рассмотрим мембрану с остро деформированным участком (рис. 3.8). Периметр мембраны, как и в других работах, например в [44], прием равным NA , где N — число волн, укладывающихся на периметре мембраны. Ширину деформированного участка в его наиболее суженной части обозначим l . Как следует из проведенного анализа, именно на этом участке создаются условия для подтягивания к мембране наибольшего числа белковых молекул, адгезирующихся к ней и в дальнейшем регулярно передающих акустоэлектрической волне мембраны энергию своих колебаний¹ на одной из собственных резонансных частот, соответствующих частоте преимущественно возбуждающихся в мембране колебаний.

Для упрощения анализа можно принять, что энергия дипольных колебаний белковых молекул передается мембране только на этом деформированном участке и отсюда распространяется по мембране, постепенно затухая. Однако даже при относительно больших затуханиях могут сохраняться условия обратной связи, достаточные для выделения резонансных частот (частот, для которых N — целое число).

Но какие из собственных резонансных частот реально возбуждятся? По-видимому, в первую очередь те, на которых создадутся оптимальные условия для передачи энергии мембране от наибольшего числа молекул, а потери энергии в мембране, связанные с возбуждением колебаний, окажутся минимальными. Очевидно, такие условия будут оптимальными для частот, для которых

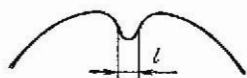


Рис. 3.8. Схематическое изображение области деформации мембраны

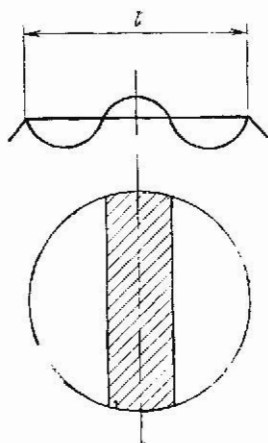


Рис. 3.9. Распределение амплитуды поля стоячей волны на поверхности деформированного участка:
заштрихована область, бомбардируемая белковыми молекулами

¹ К белковым же молекулам энергия передается в процессе метаболизма [44].

$l \approx M\Lambda/2$, где M — нечетное целое число (четные гармоники в системе в силу симметрии должны отсутствовать). Условие $l \approx M\Lambda/2$ соответствует подходу к участку с длиной l как к активному резонатору (непосредственно возбуждаемому энергией белковых молекул), на краю которого имеют место значительные отражения волны. Равенство же периметра мембраны $M\Lambda$, где N — целое число, говорит, что замкнутый контур длиной $M\Lambda$ рассматривается как пассивный резонатор, стабилизирующий колебания активного и сужающий резонансную полосу. Впрочем, подход к количественным оценкам мало изменится, если участок длиной l рассматривать как участок резонансной системы большого размера, образующейся в области деформации мембраны; в этом случае, когда $M < 1$ (т. е. условие равенства M нечетному целому числу не выполняется), имело бы место лишь возрастание активных потерь (судя по наблюдаемым формам искажений, довольно резкое) при той же передаче энергии белковых молекул мембранс. Для различных $M > 1$ условия передачи энергии отличаются резко. При $M=1$ подошедшие к мембране молекулы достаточно эффективно передают энергию почти по всей площади участка с диаметром l (элементы подструктур смещены друг относительно друга на Λ [76, 139] и их ширина близка $\Lambda/2$). При $M > 1$ доля площади, на которой осуществляется передача энергии мембране синхронно колеблющимися молекулами, сокращается по сравнению со случаем, когда $M=1$, примерно в 2...3 раза (рис. 3.9).

К этому следует добавить, что в соответствии с анализом подпараграфа 3.1.4 пропорционально уменьшению Λ сокращается и расстояние, с которого белковые молекулы подтягиваются ближним полем к мембране. Соответственно энергия высших возбуждаемых гармоник по сравнению с энергией основной гармоники снижается достаточно быстро.

Таким образом, возникшие деформации содействуют возбуждению колебаний, для которых $\Lambda \approx 2l$, причем эта величина уточняется вторым условием $\Lambda = p/N$, где p — периметр мембраны в сечении, в котором возбуждаются колебания, т. е. на выбор частот влияют и другие распределенные по поверхности мембраны элементы подструктуры, определяющие характер обратной связи, хотя вклад каждого из них в энергообмен с мембраной может быть небольшим. По мере формирования этих элементов резонанс становится более острым. Уточнению конкретного типа колебаний среди ряда близких, не отличающихся существенно от определяемых двумя указанными выше условиями могут содействовать внешняя или (если речь идет о системе клеток) взаимная синхронизация [139]. Естественно, изложенные соображения могут быть использованы лишь для очень ориентировочной оценки.

3.2. РОЛЬ КОГЕРЕНТНЫХ ВОЛН В ОБРАЗНОМ ВОСПРИЯТИИ ВНУТРИКЛЕТОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ. ПРИРОДА ШИРОКОГО СПЕКТРА БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ЭМИ¹

Все анализируемые в гл. 3 вопросы тесно связаны с § 3.1, но, учитывая их самостоятельную теоретическую и практическую значимость, излагаемые ниже материалы выделены в отдельные небольшие параграфы.

В § 2.2 была показана роль генерируемых клетками когерентных акустоэлектрических волн как высокоинформативного средства получения данных о процессах, связанных с нарушением нормального функционирования клеток.

Скорость и объем обрабатываемой информации в значительной мере зависят от способа ее восприятия и обработки. С этой точки зрения, как известно, наиболее эффективными являются образное восприятие и обработка информации в сложных организмах. Для иллюстрации этого положения обычно приводят восприятие зрительного образа. Например, глаза человека включают около 250 миллионов приемников, которые воспринимают одновременно различные элементы наблюдаемого объекта, фиксируя в мозгу его образ, подобный образу этого объекта [142], что создает исключительные удобства для мысленного манипулирования с образом как единым целым и приводит к огромной экономии затрат как памяти, так и средств обработки, необходимых для манипулирования. Результат обработки информации реализуется затем в действиях, осуществляемых на уровне органов (рук, ног, мышц и т. п.). Однако, как уже отмечалось, даже мозг человека, включающий всего около $10^9 \dots 10^{10}$ клеток, не может осуществить моделирования процессов, совершающихся в организме на клеточном уровне, так как число клеток в организме составляет ориентировочно $10^{14} \dots 10^{15}$. Поэтому управление процессами на клеточном уровне может осуществляться в первую очередь системами управления самих клеток. В этом, на наш взгляд, заключено обоснование сохраняющего свое значение и на сегодняшний день утверждения Р. Вихрова о том, что любая патология связана с патологией клеток, если его формулировать в кибернетических представлениях.

Естественно возникает вопрос: а является ли система восприятия и обработки информации в клетках столь же эффективной, как и в мозгу? В частности, является ли восприятие информации о нарушениях, осуществляемое с помощью когерентных волн КВЧ-диапазона частот, образным восприятием? Стрессовая реакция организма в целом — неспецифический ответ организма на изменение условий существования — с точки зрения фаз приспособления к изменениям подобна реакциям клетки на неблагоприятные изменения [143], что позволяет думать о сходстве в организации управления.

¹ Анализ проведен совместно с П. В. Поручиковым.

Действительно, как видно из материалов § 3.1, органические изменения клетки, приводящие к нарушению формы клеточных мембран, связаны с возбуждением в последних стоячих акусто-электрических волн, наиболее интенсивных в областях резких изменений формы. Форма искажений определяет частоту возбужденных колебаний. Иными словами, *образ нарушений формы мембран кодируется в частоте, амплитуде колебаний и ее распределении по поверхности мембраны*. С другой стороны, этот образ определяет (вместе с излучающимися в местах резких искажений формы мембран электрическими колебаниями, трансформирующимися в электромагнитные волны) силы, управляющие процессами адаптивного роста в клетке, осуществляемыми с помощью белковых молекул, некоторые из резонансных частот которых совпадают с частотой акустоэлектрических волн. В конечном итоге это управление приводит к восстановлению электрически симметричных форм мембран и нормального функционирования; на нем зиждется поддержание гомеостаза, если он нарушается изменением формы мембран (вопрос о поддержании гомеостаза в случаях, связанных с нарушением хода биохимических реакций будет рассмотрен в § 3.3).

Сказанное определяет положительный ответ на поставленный вопрос об образном восприятии информации о нарушениях в клетке и использовании образного восприятия для управления процессами устранения нарушений. Но его значение не ограничивается вопросами теории, оно ведет к важным практическим выводам. Прежде всего, оно позволяет объяснять физическую природу необычно широкого спектра биологического действия ЭМИ, имитирующих, как уже неоднократно подчеркивалось, действие на организм собственных когерентных волн, генерируемых клетками в КВЧ-диапазоне.

Действительно, начиная с первых медицинских и биологических исследований воздействия ЭМИ на живые организмы, было установлено, что наряду с устранением нарушений или заболеваний, являющихся целью воздействия ЭМИ на определенной частоте, одновременно устраняются или излечиваются многие другие заболевания. Такой широкий спектр действия на первых порах вызывал сомнения и требовал бесконечных проверок. Однако в свете изложенного объяснение широкого спектра действия применительно к клеткам представляется естественным. Одинаковые по форме деформации могут возникнуть на различных участках одной и той же клеточной мембраны и независимо от их дислокации должны вызывать генерацию колебаний на одних и тех же (или близких) частотах. В то же время влияния деформаций различных участков мембраны на характер функционирования клетки могут быть непохожими друг на друга и зависят от расположения этих участков по отношению к клеточным органоидам. Поэтому внешние воздействия ЭМИ, частоты которых близки к генерируемым самой клеткой при определенной форме искажения мембраны, приводят к устранению различных нарушений функ-

ционирования, если различия связаны с дислокацией искаженного участка на мембране. Если определенному характеру органического нарушения соответствует некоторый спектр генерируемых частот, то обратного заключения сделать нельзя: определенному спектру частот воздействия (т. е. только одному из факторов кодирования нарушения) может отвечать устранение различных нарушений. Аналогичное положение, вероятно, имеет место и для сложных многоклеточных организмов, если речь идет о нарушениях, связанных с функционированием клеток.

Но, конечно, сказанное не говорит об универсальности действия колебаний одной и той же частоты или спектра частот: разным спектрам частот могут соответствовать разные по форме деформации мембран, различие в действии на совокупность деформаций, одновременно существующих в разных точках мембраны и др.

Рассматриваемый вопрос, однако, сказанным не исчерпывается. Забегая вперед, обратим внимание на то, что когерентные волны в клетках и те же факторы кодирования образа нарушений, о которых говорилось применительно к нарушениям формы мембран, управляют также процессами поддержания гомеостаза при нарушении биохимических процессов в клетке (см. следующий параграф). А это означает, что в обычно многозвенной цепи явлений, приводящих к восстановлению нормального состояния, радиофизические процессы расположены ближе к источнику, первопричине нарушения. И хотя устранить определенную неправильность функционирования организма можно, воздействуя не только на первые, но и на промежуточные звенья, но воздействия на первые звенья в цепи нарушений неизбежно расширяют спектр лечебного биологического действия, делают это действие более длительным и разносторонним. Последнее рассуждение, конечно, нуждается в более глубокой проработке.

3.3. РАДИОФИЗИЧЕСКИЙ ХАРАКТЕР РЕГУЛИРОВАНИЯ КЛЕТКАМИ ДИНАМИКИ ПРОИСХОДЯЩИХ В НИХ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ПОДДЕРЖАНИЕ ГОМЕОСТАЗА

Процессы жизнедеятельности связаны с непрерывной трансформацией энергии и материи. В то же время эти процессы не приводят к нарушению гомеостаза (сохранения относительного динамического постоянства организма) и, следовательно, должны носить колебательный характер. Ряд таких колебательных процессов, особенно важных для функционирования, имеет устойчивые частоты, и они получили название биоритмов. Важная роль биоритмов в функционировании организмов привлекает ученых к исследованию их природы и влияющих на них факторов, позволяющих реализовывать как интенсификацию, так и замедление различных процессов.

В последние годы серьезное внимание стали уделять так называемым окологласовым ритмам (период которых по порядку ве-

личины близок одному часу — от получаса до нескольких часов) [144]. Этот ритм имеют многие явления: синтез белка; изменение клеточных размеров и массы, ферментативной активности, проницаемости клеточных мембран, секреции, электрической активности; изменения внутриклеточного pH и многих других процессов, происходящих не только на клеточном уровне, но и на уровне органов. Такое многообразие навело на мысль об общей природе явлений с околичасовыми ритмами. Однако до сих пор четкого физического объяснения природы околичасовой цикличности, общей для крайне разнородных на первый взгляд явлений, найдено не было.

Авторам пришлось столкнуться с околичасовыми процессами при изучении влияния когерентных волн на адаптивный рост (приспособительные и восстановительные процессы) [72]. Уже в первых работах, относящихся к изучению влияния когерентных волн на такие процессы [10], было установлено, что оптимальное время непрерывного воздействия когерентными электромагнитными волнами на организм близко одному часу. В дальнейшем было установлено, что эта величина изменяется от получаса до нескольких часов [83, 132]. Существенно, что в ходе указанных работ их авторам удалось найти объяснение физической природе рассмотренных явлений, заключающийся, в частности, в регулировании скорости протекания и ритма биохимических процессов в клетках при помощи полей генерируемых ими когерентных волн [83, 139]. Развитые при этом представления можно использовать и для количественных оценок околичасовых ритмов (конечно, такое использование носит пока характер гипотезы). Действительно, согласно приведенному в гл. 2 и в § 3.1 описанию явлений адаптивного роста нарушения в клетках влекут за собой образование на мембранах так называемых подструктур, состоящих из белковых молекул, стягиваемых из цитоплазмы к мембранам (особенно интенсивно в областях искажения их формы) полями акустоэлектрических и электромагнитных волн. Включенные в подструктуры белковые молекулы совершают дипольные колебания за счет энергии метаболизма, передаваемой ими затем стоячим волнам в мембране. Чем больше белковых молекул в подструктурах, тем интенсивнее генерируемые волны (последнее с точки зрения рассматриваемого вопроса особенно важно). Покидающие подструктуры белковые молекулы вновь попадают в цитоплазму.

В той мере, в которой речь идет о колебательных процессах в условиях сохранения гомеостаза, целесообразно использовать соответствующие методы анализа.

Как известно (см., например, описание популяционных волн [151]¹), в условиях существования двух взаимосвязанных конеч-

¹ Примером популяционных волн является чередование размножения зайцев и лис: зайцев много → лисы быстро размножаются, поедая зайцев → количество зайцев сокращается → бескормица приводит к сокращению числа лис → это вновь приводит к усилению размножения зайцев и т. д.

ных множеств биообъектов, изменение одного из которых приводит к адекватному изменению второго, сохранение гомеостаза возможно в случае, если указанные процессы носят колебательный характер и сдвинуты друг относительно друга во времени на четверть периода.

В рассматриваемом случае речь идет о плотности взвеси белковых молекул в цитоплазме клетки на границе мембраны (обозначим ее X) и количестве адгезированных к мембране белковых молекул, образующих подструктуры (обозначим его Y). Обозначив X_0 и Y_0 постоянные составляющие X и Y , а x_1 и y_1 — амплитуды переменных составляющих x и y этих величин, можно условие сохранения гомеостаза для простейшего случая гармонических изменений записать в форме

$$X = X_0 + x = X_0 + x_1 \sin \omega t,$$

$$Y = Y_0 + y = Y_0 - y_1 \cos \omega t,$$

где ω — частота колебаний. Соответственно

$$\frac{dX}{dt} = \frac{dx}{dt} = x_1 \omega \cos \omega t,$$

$$\frac{dY}{dt} = \frac{dy}{dt} = y_1 \omega \sin \omega t,$$

т. е.

$$\frac{dy}{dt} \sim x,$$

$$\frac{dx}{dt} \sim -y.$$

Физический смысл полученных выражений очевиден: скорость перехода белковых молекул из цитоплазмы на мембрану (скорость изменения переменной составляющей их количества на мембране) пропорциональна переменной составляющей плотности взвеси этих молекул в цитоплазме; скорость же изменения переменной составляющей плотности взвеси белковых молекул в цитоплазме пропорциональна переменной составляющей их числа на мембране, определяющей переменную составляющую интенсивности генерируемых колебаний.

Чем определяется частота ω ?

Реальный процесс изменения числа белковых молекул, адгезированных к мембране, не является гармоническим: будучи включенными в подструктуры, белковые молекулы могут оставаться в них достаточно долго. (Характерное время этого процесса $\tau \gg 2\pi/\omega$.) Скорость их накопления изменяется, но периодическая убыль в течение адаптивного роста места не имеет. В отличие от упоминавшихся выше популяционных волн, порожденных взаимосвязью качественно различных объектов (например, хищников и их жертв), в данном случае задача несколько усложняется тем, что речь идет об одинаковых объектах (белковых молекулах), а изменяется местонахождение этих объектов — в цитоплазме или

на мембране. Но применительно к характеру колебаний количества белковых молекул в цитоплазме это различие несущественно.

Увеличение амплитуды колебаний, генерируемых адгезированными к мембране белковыми молекулами, влечет за собой интенсификацию биохимических процессов в цитоплазме, связанных, в частности, с формированием новых белковых молекул с резонансными частотами, соответствующими частоте генерируемых колебаний [83].

Период синтеза белковой молекулы близок к порядку величины 1 ч [144]. Соответственно время компенсации убыли белковых молекул в цитоплазме должно иметь тот же порядок величины. За это время цитоплазма возвращается в состояние, близкое к исходному, после чего начинается следующий цикл колебаний. Изложенная последовательность явлений определяет околочасовой ритм.

Таким образом, аналогично популяционным волнам время возвращения в исходное состояние связано не с возвратом в цитоплазму ранее вышедших из нее белковых молекул, а с формированием новых белковых молекул (что соответствует размножению животных в задаче о популяционных волнах), причем период колебаний определяется скоростью формирования (соответствующей скорости размножения в задаче о популяционных волнах). Известную роль в околочасовой периодичности явления играет, по-видимому, и заметное снижение за этот период интенсивности колебаний, генерируемых подструктурами в отсутствие внешнего подвозбуждения [158], что может быть объяснено тепловым разупорядочиванием белковых молекул.

Но описанные выше процессы образования подструктур из белковых молекул, переходящих из цитоплазмы на мембрану, сопутствуют процессам восстановления гомеостаза после самых разнообразных нарушений [139]. По-видимому, с этим связана и упомянутая вначале распространенность процессов с околочасовым ритмом в живых организмах.

Поскольку нарушение и восстановление функционирования клеток обуславливают соответствующие нарушения и восстановления многоклеточных систем, включающих эти клетки, высказанные соображения должны иметь место и применительно к сложным организмам. По-видимому, их следует учитывать и при обсуждении различных проблем, находящихся в сфере внимания медицины и биологии.

3.4. О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ РАДИОФИЗИКИ ДЛЯ ФОРСИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ АДАПТИВНОМ РОСТЕ ВНУТРИ ОРГАНИЗМА¹

В § 3.1...3.3 настоящей главы было показано, что процессы адаптивного роста (восстановительные и приспособительные в

¹ В исследовании принимала участие И. А. Савостьянова.

клетках живых организмов) в значительной мере регулируются с помощью генерируемых клетками когерентных акустоэлектрических колебаний, частота, амплитуда и пространственное распределение которых определяются характером органических и функциональных нарушений. Была проведена теоретическая оценка сил и внутренних энергетических затрат организма, связанных с управлением указанными процессами и их реализацией. А это позволяет сделать следующий шаг: попытаться выявить влияние различных факторов на длительность восстановления нормального функционирования и дать количественную оценку этой деятельности. Конечно, речь может идти только об очень ориентировочной оценке, так как реальные искажения клеточных мембран могут быть сложными, а причины их появления — комплексными и мало изученными. Но даже ориентировочная оценка порядков величин, если она как-то отражает реальность, существенна для анализа путей и средств воздействия на клетку, способствующих ускорению адаптивного роста.

В предыдущих главах речь шла только об информационных процессах, обсуждалась возможность оказать влияние на их длительность. Изложенный же в настоящей главе материал затрагивает также и энергетические процессы внутри организма, длительность которых нередко занимает большую часть периода адаптивного роста. Поэтому можно ожидать, что в ходе изучения влияния различных факторов на длительность адаптивного роста выявятся методы форсирования этого процесса в целом.

В соответствии со сказанным целесообразно ограничить анализ простейшим случаем — процессом устранения одиночной деформации мембраны; форму искажения, как и в § 3.1, выберем коническую, связанную с действием на мембрану центральной силы. Такого рода искажения широко представлены в [63].

Основным фактором, определяющим устранение деформации, в соответствии с проведенным в § 3.1 анализом, будем считать механическое воздействие на мембрану белковых молекул, притягиваемых к ней из цитоплазмы полем акустоэлектрических волн. При этом необходимо учесть, что притягиваются к мембране не любые белковые молекулы, а лишь те из них, у которых по крайней мере одна из резонансных частот совпадает с частотой распространяющихся по мембране волн. Следует также учесть, что уход определенных видов белковых молекул из цитоплазмы на мембрану в процессе формирования белковых подструктур на мембране восполняется вновь образующимися молекулами, так что гомеостаз в клетке сохраняется, и периодические изменения числа белковых молекул в цитоплазме клетки поддерживаются на минимальном уровне (см. § 3.3).

Наконец необходимо учесть (см. § 3.1), что основная часть белковых молекул, активно вытягиваемых из цитоплазмы полем акустоэлектрических волн, располагается исходно не во всем объеме клетки, а лишь в прилежащем к мембране слое толщиной около $(3/4)\Lambda/\pi$ (где Λ — длина акустоэлектрической волны в мембра-

не), в котором силы притяжения снижаются приблизительно на порядок.

Приведенная в § 3.1 оценка центральных сил, деформирующих мембрану, позволяет определять и энергию, затрачиваемую на деформацию. Для глубокой (доходящей до центра клетки, имеющей диаметром $2R \approx 6$ мкм) деформации требуется энергия порядка $10^4 kT$; для меньших деформаций мембраны энергия уменьшается. По-видимому, для большинства представляющих интерес случаев энергия деформации W_1 лежит в пределах $(10^3 \dots 10^4) kT$. Можно принять, что энергия устранения зафиксировавшейся деформации имеет тот же порядок величины. Поскольку средняя энергия, отдаваемая белковой молекулой мембране при ее бомбардировке, составляет kT , то число белковых молекул, которые должны совершить удар по деформированному участку, чтобы устранить деформацию $K_{\text{общ}} = W_1/kT$, должно иметь порядок $10^3 \dots 10^4$. Для оценки ниже используется верхний предел, так как очень малые искажения форм восстанавливаются легко, но точно зафиксировать время их восстановления трудно.

С точки зрения оценки энергии, затрачиваемой на устранение деформации белковыми молекулами, бомбардирующими деформированный участок мембраны, существенно отношение общей площади мембраны к площади деформированного участка. Это отношение можно характеризовать коэффициентом K_1 , пропорциональным указанному отношению.

Можно показать [147], что при характерной толщине гидрофобной части мембраны, составляющей приблизительно 30 Å, деформация сохраняет простую осесимметричную форму при $\rho < 0,1R$, где ρ — радиус основания конической деформации. Соответственно $K_1 > 400$.

Заметим также, что, судя по данным электронной микроскопии [67], плотность потока белковых молекул к деформированному участку много больше плотности потока, направленного к недеформированным участкам мембраны. Поэтому при оценке порядка отношения числа белковых молекул, бомбардирующих искаженный участок мембраны, к числу молекул, бомбардирующих такие же по площади участки остальной мембраны, целесообразно ввести коэффициент K_2 . Его порядок, по-видимому, можно принять равным 10.

Слой, из которого находящиеся в цитоплазме белковые молекулы активно подтягиваются к мембране, значительно меньше $(3/4)\Lambda/\pi$ (см. рис. 3.4) и составляет относительно небольшую часть общего объема клетки. Обозначим K_3 отношение объема клетки к объему этого слоя.

Для средней части миллиметрового диапазона волн длина акустоэлектрической волны Λ по порядку величины близка 100 Å, и, следовательно, K_3 можно принять равным 100. По-видимому, одновременно (за период формирования белковой молекулы) к мембране может подтягиваться порядка 1% клеток данного вида (характеризующегося определенной резонансной частотой), про-

изводимых в объеме клетки; остальные участвуют в функционировании клетки вне связи с исследуемым процессом восстановления формы мембраны. В соответствии с данными [144] за час в клетке (гепатоците) может образовываться порядка 10^9 белковых молекул, обозначим это число N_1 . Не имея достоверных данных о различиях в числе белковых молекул, производимых в единицу времени разными типами клеток, используем для оценки это число. Но количество одинаковых белковых молекул по данным [143] составляет лишь около 10^{-3} общего числа белковых молекул; обозначим это отношение m . (Заметим, что m можно оценить, и исходя из ширины резонансных полос, укладываемых в КВЧ-диапазон и соответствующих информационному действию электромагнитных колебаний.)

Длительность восстановительного процесса $t_{\text{восст}}$ может быть оценена как время, в течение которого белковые молекулы могут передать мембране при соударениях с ней энергию, равную энергии деформации. Исходя из приведенных выше соображений

$$t_{\text{восст}} \approx \frac{K_{\text{общ}} K_1 K_2}{N_1 m K_2}.$$

Эта величина составляет несколько суток, эта оценка говорит о вероятном порядке величины, не более того. Но из нее следует важный, на наш взгляд, вывод: эффективное влияние на сокращение $t_{\text{восст}}$ можно оказывать, подбирая вводимые в организм вещества таким образом, чтобы возрастало m .

Иными словами, речь идет об увязке КВЧ-излучений, используемых для организации системы управления процессами адаптивного роста, с созданием оптимальных условий для функционирования этой системы за счет модификации управляемого объекта — среды, на которую воздействуют генерируемые клетками когерентные волны. Напомним, что попытки повлиять с помощью ЭМИ на обычный метаболизм (не увязанный со специальным подбором сред в соответствии с частотами воздействия) были малоэффективными [13].

Такой подход может оказаться рациональным не только по отношению к воздействиям на автономно функционирующие клетки, но и к воздействиям (преимущественно локальным) на сложные многоклеточные организмы при их функциональных и органических нарушениях.

Если смотреть еще дальше, то аналогичный подход может быть распространен и на ткани, вводимые в организм после предварительного воздействия на них для активизации их функционирования в новых условиях излучений КВЧ-диапазона. Преимущество ввода в организм не молекул, а тканей, предварительно активированных воздействием на нужной частоте, определяется длительностью сохранения в них генерации на этой частоте. Подобный ход мысли был реализован в экспериментах, описанных в [73, 115], где было показано, как внесение в организм ткани после

воздействия на нее соответствующих частот КВЧ-диапазона в десятки раз увеличивает биологический эффект.

Известно, что, подбирая пищу в соответствии с характером патологии, способствуют ускорению выздоровления [146]. Проведенное исследование говорит о возможности более эффективно подбирать вводимые в организм вещества и ткани по их КВЧ-спектральным характеристикам, которые должны соответствовать спектру частот, используемых для ускорения процесса адаптивного роста. При этом становится в принципе понятным необходимый состав диагностической, терапевтической и спектрометрической КВЧ-аппаратуры. Возможность и способы реализации такого подхода требуют серьезной проверки и большого объема исследований связанных с ним явлений и технологий.

ГЛАВА 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧАЕМЫХ КЛЕТКАМИ КОГЕРЕНТНЫХ ВОЛН И СПЕЦИФИЧЕСКИХ БИОФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖИВЫМИ ОРГАНИЗМАМИ

4.1. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРИРУЕМЫХ КЛЕТКАМИ КОГЕРЕНТНЫХ КОЛЕБАНИЙ. ОЦЕНКА ИХ МОЩНОСТИ. МЕЖКЛЕТОЧНЫЕ СИЛОВЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

4.1.1. ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В гл. 2 был рассмотрен механизм генерации клетками когерентных колебаний как под влиянием падающих на них извне ЭМИ, так и самостоятельных — после произошедших по тем или иным причинам нарушений их нормального функционирования.

Генерируемые клетками когерентные колебания частично излучаются в виде волн в окружающее их пространство. На этом излучении основано межклеточное взаимодействие, осуществляемое с помощью переменных полей¹. По-видимому, оно играет большую роль в жизни клеточных популяций, определяя взаимосвязь отдельных клеток при действии некоторых общих для них неблагоприятных факторов, а также взаимное влияние клеток в сложных многоклеточных организмах, например, на дифференциацию клеток при формировании организма или на совместную реакцию групп клеток на повреждающие воздействия.

Однако проводимый в настоящей главе анализ будет посвящен не многочисленным биологическим проблемам, связанным с меж-

¹ Во избежание недоразумений сразу подчеркнем, что этот путь взаимодействия клеток отнюдь не единственный, используемый в живой природе [149].

клеточными взаимодействиями, осуществляемыми с помощью волн, а только биофизическим аспектам изучения последних. При этом материалы § 4.1 относятся исключительно к силовым взаимодействиям, а вопросы информационной связи разбираются в § 4.2.

4.1.2. ОСНОВНЫЕ ТРУДНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ГЕНЕРИРУЕМЫХ КЛЕТКАМИ КОЛЕБАНИЙ И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ [77]

Из анализа, проведенного в гл. 2, следует, что в клетках должны возбуждаться когерентные колебания. Однако еще до начала работ по их экспериментальному выявлению была очевидна большая сложность решения этой задачи из-за исключительной малой мощности излучаемых клеткой монохроматических волн рассматриваемого диапазона частот. Малость мощности излучаемых волн определяется рядом причин.

Во-первых, сопоставление полной отдаваемой организмом человека в окружающее пространство тепловой мощности и числа клеток в организме говорит о том, что полная мощность, которой располагает клетка, составляет в среднем всего $10^{-13} \dots 10^{-12}$ Вт. У других организмов она может быть на порядки меньшей.

Во-вторых, очевидно, что в живых организмах, как и в других кибернетических системах, связанных с выполнением энергетических операций, лишь очень малая доля этой мощности может быть израсходована на генерацию когерентных колебаний, используемых в целях управления; основная же часть энергии в разных ее формах потребляется исполнительными системами клетки¹. При изучении когерентных колебаний в узком диапазоне частот эта доля уменьшается еще более.

В-третьих, лишь малая часть генерируемой в рассматриваемом диапазоне мощности может быть клеткой излучена во внешнее пространство; главная же часть используется для управления внутриклеточными процессами.

Без принятия специальных мер не облегчит решения задачи и одновременный прием излучения многих клеток. В разных клетках когерентные колебания могут происходить на разных частотах, а для тех клеток, в которых они имеют одинаковую частоту, — в разных (разбросанных между 0 и 2π) фазах, определяемых, в частности, пространственным смещением клеток друг относительно друга. А в этом случае сложения амплитуд колебаний не происходит. В подпараграфе 4.1.4 настоящей главы будет показано, что сложение мощностей, генерируемых клетками в рассматриваемом диапазоне когерентных колебаний на существенном ($\lambda/4$ и более, где λ — длина электромагнитных волн в воде) расстоянии от области расположения клеток, невозможно организовать даже при внешней синхронизации их колебаний.

¹ Лишь в кибернетических системах, выполняющих только информационные задачи (обработку данных для других устройств), расход энергии на эти цели может быть основным.

Суммируя сказанное, можно констатировать, что речь идет о приеме колебаний, уровень которых может быть ниже уровня тепловых излучений. Однако в соответствии с анализом, проведенным в гл. 2, в живых организмах такие слабые колебания воспринимаются и используются в целях управления. Поэтому важно было понять, как, на основе каких принципов это осуществляется в живой природе, и использовать соответствующие принципы.

Первый из принципов подсказывается характером уже неоднократно обсуждавшейся в данной работе зависимости, изображенной на рис. 1.2. Такого рода зависимости, названные биологами «все или ничего», объясняются в биологии кооперативностью ответа реагирующих на воздействие единиц [39]. Применительно к действию ЭМИ такая кооперативность ответа была объяснена в [40]. Суть этого объяснения сводится к тому, что сигнал ЭМИ синхронизует генерируемые клетками колебания. В результате частоты их уравниваются, колебания становятся сфазированными, и их амплитуды при малом (как будет показано в подпараграфе 4.1.3, меньше $\lambda/8$) расстоянии между клетками могут суммироваться. Более того: если биологическая система обладает усилительными свойствами в узких полосах частот, то монохроматические сигналы могут дополнительно ею усиливаться в соответствующих полосах. Мощность, необходимая для синхронизации сигналов, в соответствии с теорией этого процесса много меньше мощности синхронизируемых колебаний.

Но и эти сигналы еще очень слабы, и для их приема организм должен, по-видимому, накапливать информацию в течение длительного времени. Вероятно, именно способность к эффективному накоплению информации в течение очень длительного времени является главным фактором, обеспечивающим прием организмом сверхслабых сигналов. Представление о длительности этого процесса можно получить, исходя из минимальной длительности облучения организма ЭМИ, необходимой для достижения биологического эффекта, сохраняющегося после прекращения облучения.

Накопление информации в течение этого времени в соответствии с приведенным в гл. 2 описанием обеспечивается тем, что носителем информации являются информационные структуры, включающие мембраны и белковые подструктуры на их поверхности, формирование которых осуществляется под действием даже очень слабых переменных полей, определяющих направления перемещения и конечного расположения белковых молекул, образующих подструктуры. Конфигурация же полей определяется частотой происходящих в клетке колебаний (см. гл. 2 и 3).

Применить такой уникальный способ накопления информации в технических устройствах, вероятно, непросто. Но, поскольку речь идет об исследованиях, проводимых с биологическими объектами, ничто не мешает использовать их не только в качестве источников, но и в качестве приемников излучения, для которых описанный способ накопления информации естественен.

4.1.3. РОЛЬ ГЕНЕРАЦИИ КЛЕТКАМИ КОГЕРЕНТНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ОРГАНИЗАЦИИ КЛЕТОЧНЫХ АНСАМБЛЕЙ

В ряде публикаций член-корр. АН СССР Б. В. Дерягина и канд. техн. наук М. В. Голованова (см., например, [43, 105]) описывалось, что лимфоциты больных лимфолейкозом в тонком слое концентрированного раствора хлорида натрия, заключенном между близко расположенными предметным и покровным стеклами (расстояние между стеклами 100...150 мкм), могут образовывать периодические структуры. Периодические структуры клеток легко просматриваются под микроскопом, так как клетки окружены ореолами, образующимися вследствие отталкивания ими частиц туши, добавляемой в раствор хлорида натрия для обеспечения наглядности опыта. Фотография одной из таких структур изображена на рис. 4.1. Каждая из клеток в этой структуре окружена шестью другими, расположенными на равном расстоянии от этой клетки и друг от друга. Судя по фотографиям, расстояние между клетками (50...70 мкм [105]) приблизительно в 10 раз превышает диаметр самих клеток. Существенно, что на границе области, занятой структурой, расстояния между клетками не нарушаются или почти не нарушаются, что говорит о том, что действующие между клетками на ближнем расстоянии силы расталкивания сменяются на больших расстояниях силами взаимопритяжения, так что каждая из клеток находится в потенциальной яме.

Правильность образующихся структур говорит о том, что в данном случае имеет место процесс самоорганизации, под которой в соответствии с теорией понимают [106] «установление в диссипативной неравновесной среде пространственных структур, параметры которых определяются свойствами самой среды и слабо зависят от пространственной структуры источника неравновесности (энергии, массы и т. д.), начального состояния среды и условий на границах».

Авторами [128] было высказано и обосновано предположение, что образование описываемых структур связано с двумя силами, вызванными генерацией клетками когерентных колебаний [44]¹: а) диэлек-

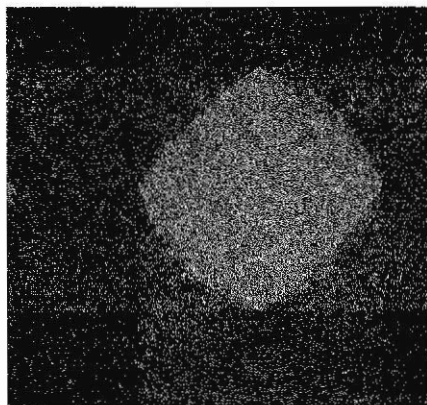


Рис. 4.1. Изображение правильной периодической структуры лимфоцитов больного лимфолейкозом в гипертоническом растворе

¹ Эта мысль высказывалась также В. В. Дерягиным и М. В. Головановым [105].

трофореом, обусловленным взаимодействием собственного дипольного излучения каждой из клеток с излучением диполей, наведенных им в окружающих клетках (расталкивание) и б) взаимопритяжением активных диполей каждой из клеток.

Поскольку данная глава посвящена исследованию взаимодействия клеток, целесообразно начать исследование именно с этого случая, как наиболее общего — включающего оба вида сил, обусловленных генерацией и излучением клетками переменных электрических полей.

Ниже приводится изложенная в [128] количественная оценка, исходящая из указанных соображений, и сравнение ее результатов с данными эксперимента.

Исходные предположения. В соответствии с [44] излучение клеток имеет дипольный характер. Поэтому при анализе будем рассматривать каждую из клеток как активный диполь, собственный дипольный момент которого обозначим d . В то же время каждая клетка представляет собой диэлектрическое тело, среднюю диэлектрическую проницаемость которого (точнее, ее действительную составляющую) обозначим ϵ_1 . Когда клетка находится в концентрированном растворе хлорида натрия, она вследствие осмоса теряет значительную часть свободной воды, и ϵ_1 для диапазона крайне высоких частот (КВЧ-диапазона) можно считать близкой 10 [107, 108]. Действительную составляющую диэлектрической проницаемости окружающей клетки среды обозначим ϵ_2 ; для концентрированного раствора хлорида натрия в КВЧ-диапазоне ее можно принять равной 20. Радиус клетки обозначим a , расстояние между соседними клетками обозначим R .

При всех расчетах будем иметь в виду указанное выше экспериментально установленное соотношение: R на порядок больше $2a$ ($R/2a \approx 10$).

Принимаем также, что во время образования периодических структур (несколько суток) успевает пройти процесс взаимной синхронизации частоты колебаний в клетках.

Количественная оценка. Согласно [109] энергия W взаимодействия двух диполей с дипольными моментами d_1 и d_2 (d_1 и d_2 — мгновенные значения моментов), находящихся на расстоянии R друг от друга в среде с диэлектрической постоянной ϵ_2 , определяется выражением

$$W = \frac{(d_1 d_2) R^2 - 3(d_1 R)(d_2 R)}{\epsilon_2 R^5} \quad (4.1)$$

При выводе (4.1) и последующих выражений принимается, что фазовым запаздыванием колебаний в клетках можно пренебречь, так как расстояние между клетками мало (много меньше длины волны в окружающей клетки среде). Поскольку колебания синхронизованы, то для описания взаимодействия можно использовать формулы электростатики.

Используя (4.1) и учитывая, что диполь может совершать независимое вращательное движение вокруг любой оси, можно оп-

ределять среднее значение энергии W_1 взаимодействия диполя с дипольным моментом d с диэлектрическим шаром радиуса a (радиусом клетки)

$$W_1 \approx \frac{2,5 d^2 a^3 (\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\epsilon_2^2 (\epsilon_1 + 2 \epsilon_2) R^6} \quad (4.2)$$

Учитывая, что диполь второй клетки наводит в первый приблизительно такой же дипольный момент, как диполь первой — во второй, можно считать, что суммарная энергия W_{12} взаимодействия собственных диполей двух клеток с диполями, наведенными каждым из них в другой клетке, удваивается

$$W_{12} \approx \frac{5 d^2 a^3 (\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\epsilon_2^2 (\epsilon_1 + 2 \epsilon_2) R^6} \quad (4.3)$$

Соответствующая этой энергии сила взаимодействия F_{12} , равная взятой с обратным знаком производной W_{12} по R , определяется выражением

$$F_{12} \approx \frac{3 d^2 a^3 (\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\epsilon_2^2 (\epsilon_1 + 2 \epsilon_2) R^7} \quad (4.4)$$

При $\epsilon_2 > \epsilon_1$ эта сила характеризует расталкивание клеток.

Выражение (4.1) позволяет определять и максимальную энергию $W_{2\text{ макс}}$ взаимодействия собственных дипольных моментов двух клеток, соответствующую их ориентации по одной оси и совпадению направлений их дипольных моментов

$$W_{2\text{ макс}} = - \frac{2 d_1 d_2}{\epsilon_2 R^3} \quad (4.5)$$

Этой энергии соответствует сила взаимодействия (взаимопритяжения)

$$F_{2\text{ макс}} \approx - \frac{6 d_1 d_2}{\epsilon_2 R^4} \quad (4.6)$$

Для перехода от максимального значения силы к среднему нужно, как и при выводе (4.4), учесть броуновское вращение клеток и более строго разобраться с природой собственных дипольных моментов. Начнем с последнего.

Для лимфоцитов больных лимфолейкозом характерно резкое искажение их ядерных мембран (см. рис. 4.2). Так прогибы этих мембран и другие (не приведенные на фотографии) искажения доходят почти до центра клетки. На этих остро выступающих участках мембран имеет место наибольшая концентрация стягиваемых из цитоплазмы белковых молекул (см. гл. 3). Эти белковые молекулы совершают колебания [102], синхронизованные колебаниями мембраны [44].

Стягивание белковых молекул к местам прогибов мембран, имеющим форму острия, определяется, как это было показано в

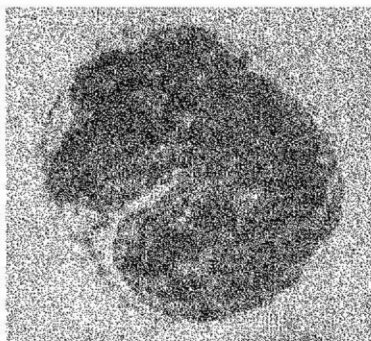


Рис. 4.2. Фотография лимфоцита больного лимфогранулезом с характерным искажением ядерной мембраны [63]

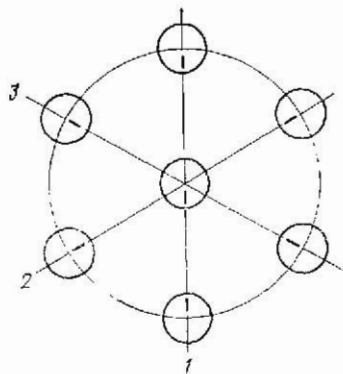


Рис. 4.3. Схема расположения клеток вокруг данной (расположенной в центре): цифрами 1, 2, 3 обозначены три оси, которым соответствуют наиболее сильные взаимодействия центральной клетки с окружающими; черточками обозначено расположение диполей в окружающих клетках на первом этапе расчета

гл. 3, концентрацией в этих областях КВЧ-поля. Так как скорость распространения акустоэлектрических волн в мембране в 10^6 раз меньше скорости распространения электромагнитных волн в окружающей мембрану среде, то амплитуда поля с удалением от поверхности мембраны быстро падает. Взаимодействие возбужденных диполей белковых молекул с неоднородным переменным электрическим полем у поверхности мембраны приводит к их притяжению к мембране. Поэтому местоположение «острия» прогнутого участка можно с некоторым приближением считать местом локализации дипольного момента в клетке. Расстояние от центра диполя до центра клетки обозначим b . Заметим, что в структуры входят лишь клетки с сильно выраженным ореолообразованием [43], т. е., следуя рассматриваемой в настоящей работе гипотезе, эффективно излучающие клетки. А эффективно излучают как раз те клетки, искажения мембран которых достаточно велики [44].

Каждая клетка окружена шестью другими (рис. 4.1 и рис. 4.3), и именно с этими шестью данная клетка взаимодействует наиболее сильно.

Вначале мысленно зафиксируем диполи, окружающие данную клетку в положениях, соответствующих наибольшему взаимодействию с активным диполем центральной клетки в моменты, когда ее диполь (имеющий эксцентриситет относительно центра клетки) приближается к соответствующей клетке окружения на наименьшее расстояние (рис. 4.3). В каждом из этих положений на диполь центральной клетки действуют только два противоположно расположенных на оси диполя (действия вдоль этой оси осталь-

ных четырех с некоторым приближением можно считать взаимно компенсирующимися)¹.

Благодаря эксцентричному положению диполя в центральной клетке, силы действия на него диполей двух противоположно расположенных на оси клеток оказываются неодинаковыми по величине и противоположными по знаку (рис. 4.4), так что результирующая сила $F_{2\text{рез}}$ равняется

$$F_{2\text{рез}} = - \left[\frac{6 d_1 d_2}{\epsilon_2 (R-b)^4} - \frac{6 d_1 d_2}{\epsilon_2 (R+b)^4} \right] \approx - \frac{48 d_1 d_2}{\epsilon_2 R^4} \frac{b}{R}. \quad (4.7)$$

Эффективно эта сила действует в одном из направлений лишь приблизительно 1/9 времени полного периода вращения (около 1/3 времени движения в каждом из шести секторов). Еще приблизительно 1/3 времени движения в соответствующем секторе диполь находится в неустойчивом состоянии, когда силы действия на него диполей клеток, расположенных по двум соседним осям, друг друга почти компенсируют. Поэтому среднее значение $F_{2\text{рез}}$ приблизительно в 9 раз меньше величины, определяемой (4.7):

$$F_{2\text{рез.ср}} \approx \frac{5,3 d_1 d_2}{\epsilon_2 R^4} \frac{b}{R}. \quad (4.8)$$

Напомним, что вращение клетки происходит в сильно диссипативной среде, связанной с трением, вызванным вязкостью среды. Поэтому кинетическая энергия вращения переходит в тепло за малую часть периода вращения, и ею можно пренебречь.

Фазы колебаний диполей в положении, соответствующем их наибольшему взаимодействию, согласуются (частота вращения клетки мала по сравнению с частотой генерируемых клеткой колебаний), т. е. взаимодействие между ними оказывается притяжением (см. рис. 4.4).

При выводе (4.8) рассматривалось вращение только одной клетки. Но в периодической структуре (см. рис. 4.1) все клетки находятся в одинаковом положении относительно соседних, их дипольные моменты можно принять при оценке приблизительно равными; усреднение сил, связанных с их дипольным моментом,

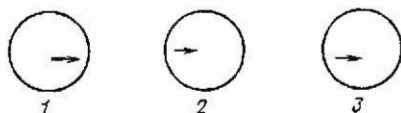


Рис. 4.4. Схема локализации диполей (изображены черточками) в клетках, расположенных на одной оси, в момент, когда взаимодействие клеток 1 и 2 максимально (первый этап расчета): колебания в клетках 1, 2 и 3 синхронизованы не только по частоте, но и по фазе

¹ Еще раз подчеркнем, что колебания диполей, входящих в структуру клеток, взаимно синхронизованы.

также должно происходить одинаково. Поэтому выражение (4.8) после окончательного усреднения примет вид

$$F_{2\Sigma} \approx - \frac{4,7 d^2}{\epsilon_2 R^4} \frac{b^2}{R^2} . \quad (4.9)$$

Приравняв друг другу абсолютные значения $F_{1\Sigma}$ и $F_{2\Sigma}$, можно определить расстояние между клетками в структуре

$$\frac{R}{2a} \approx 3 \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_2 (\epsilon_1 + 2\epsilon_2)} \left(\frac{a}{b} \right)^2 . \quad (4.10)$$

Используя приведенные значения ϵ_1 и ϵ_2 и принимая вид оценки $2b/a=0,1$ (см. рис. 4.2), получаем для $R/2a$ значение, близкое наблюдаемому в эксперименте. С учетом оценочного характера расчета совпадение можно считать удовлетворительным.

Обсуждение полученных результатов. Совпадение порядка расчетных и наблюдаемых в эксперименте величин говорит в пользу высказанного предположения о природе и характере сил, выстраивающих клетки в правильные структуры.

Неточность в определении диэлектрической проницаемости ϵ_1 не может существенно влиять на полученный результат, так как $\epsilon_1 \approx \epsilon_2/2$. То же можно сказать и об абсолютных значениях a и b . Немаловажно также, что положение каждой клетки усредняется воздействием на нее не одной какой-нибудь клетки, а ансамбля из клеток.

По-видимому, еще более важно то, что в результатах анализа отражается основное требование самоорганизации — малая зависимость структуры от величины источника неравновесности (в данном случае от величины дипольных моментов отдельных клеток): в окончательном выражении (4.10) дипольные моменты отсутствуют.

Таким образом, предположение о том, что наблюдаемая организация клеточных ансамблей связана с генерируемыми клетками когерентными колебаниями, позволяет объяснить и не только качественно, но и количественно описать это явление.

4.1.4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АКТИВИРОВАННЫХ ЭМИ КЛЕТОК В ИЗОТОНИЧЕСКОМ РАСТВОРЕ. ОЦЕНКА ИЗЛУЧАЕМОЙ КЛЕТКАМИ МОЩНОСТИ ПО ДИНАМИКЕ ИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Приведенные в подпараграфе 4.1.3 исследования позволили обсудить характер сил межклеточного взаимодействия, определяемых генерацией клетками когерентных колебаний. Однако в рассмотренном случае действовали одновременно как силы взаимопритяжения, так и силы взаимоотталкивания, и в точках стационарного расположения клеток силы взаимокомпенсировались. К величине излучаемой клетками мощности их расположение было не критично. Поэтому прямо использовать полученные результаты для оценки этой мощности было невозможно.

Эксперимент необходимо было модифицировать, сведя к нулю одну из упомянутых сил взаимодействия. Сделать это можно разными способами [110].

В настоящем подпараграфе сила взаимоотталкивания сводится к нулю за счет перехода к изотонической среде, когда $\varepsilon_1 \approx \varepsilon_2$. Из формулы (4.4) видно, что в этом случае взаимоотталкивание сводится к нулю, поскольку активный дипольный момент одной клетки не наводит дипольного момента в другой. Силы взаимопритяжения активных диполей и в этом случае сохраняются, хотя использованный в подпараграфе 4.1.3 метод их определения при отсутствии статической картины взаиморасположения клеток становится, по-видимому, менее рентабельным, чем описываемый ниже.

Второй возможный способ оценки мощности излучения клеток (подробно рассматриваемый в подпараграфе 4.1.5), наоборот, основан на сведении к нулю сил взаимопритяжения излучающей клетки и диэлектрических пассивных частиц, обладающих небольшой диэлектрической постоянной — много меньшей диэлектрической постоянной среды, в которой находятся клетки.

Сопоставление результатов оценок излучаемой клетками мощности, сделанных этими двумя противоположными методами, представляют, на наш взгляд, определенный интерес, хотя условия экспериментов во многом несопоставимы.

Описание эксперимента. Кроме указанных выше отличий эксперимент имел следующие принципиальные отличительные черты. Если в подпараграфе 4.1.3 объектом исследования были лимфоциты больных лимфолейкозом, генерирующие и излучающие волны и без внешнего облучения ЭМИ (что можно наблюдать по ореолам вокруг клеток в среде, в которую внесены частицы туши, позволяющие этот ореол наблюдать — см. рис. 4.1), то в данном случае объектом исследования были здоровые клетки — эмбриональные фибробласты, которые до воздействия на них ЭМИ практически не излучали. Эффект воздействия на них ЭМИ, как это было разобрано для таких случаев в гл. 2 и 3, приводит к активации клеток, подобной предварительной тренировке; на мембранах образуются подструктуры, и клетки начинают излучать когерентные колебания.

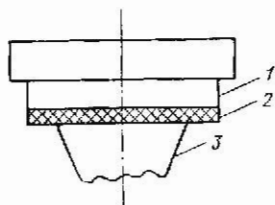


Рис. 4.5. Схема облучения:
1 — чашка Петри с крышкой; 2 —
теплоизолирующая прокладка; 3 —
рукоятка

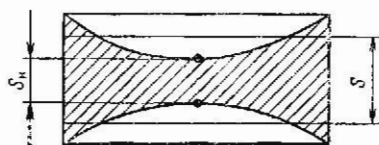


Рис. 4.6. Схема распределения
клеток на дне чашки Петри:
обозначение размеров, использо-
ванных в оценочном расчете

Чашка Петри диаметром 30 мм с культурой эмбриональных фибробластов в изотоническом растворе (2 мл культуры, плотность взвеси $2 \cdot 10^6$ клеток/мл) помещалась перед началом воздействия ЭМИ на прямоугольный раскрыв рупора сечением 10×20 мм² (рис. 4.5) и облучалась в период осаждения клеток (в течение 1 ч) электромагнитными волнами КВЧ-диапазона (длина волны в свободном пространстве 7,1 мм) потоком плотностью 10 мВт/см²; температура взвеси поддерживалась равной 25...27°C. Дно чашки Петри в ходе эксперимента отделялось от рупора термоизолирующей фторопластовой прокладкой толщиной 1 мм. После осаждения клеток культура фиксировалась абсолютным этиловым спиртом и окрашивалась метиленовой синью¹. Если осаждение клеток осуществлялось при отсутствии облучения, распределение клеток по дну чашек Петри было приблизительно равномерным.

Характерная картина распределения облучения клеток по дну чашек Петри представлена на рис. 4.6. Наблюдаемую картину можно объяснить следующим образом. Облучение приводит к синхронизации генерируемых клетками колебаний и связанным с ней сложению их амплитуд в ближней зоне [44, 40] и усилению межклеточного взаимопротяжения [42]. Поскольку внешний КВЧ-сигнал может воздействовать на генерируемые клетками колебания только электрической компонентой своего поля [84], взаимопротяжение оказывается наибольшим в центре прямоугольного рупора, раскрыв которого близок ко дну чашек Петри, возбуждаемого основным типом колебаний прямоугольного волновода. В результате в области над центральной частью рупора стягивание клеток к центру оказывается максимальным, так что наблюдаемая картина распределения клеток на дне чашки Петри по форме напоминает бабочку [84]. В то же время важно отметить, что поле внешнего облучателя не создает сил, которые сами по себе могли бы повлиять на смещение клеток в направлении, перпендикулярном плоскости симметрии рупора (электрическая компонента КВЧ-поля в направлении, перпендикулярном широкой стенке рупора, изменяется слабо [111]), так что смещения клеток, наблюдаемые при осаждении под воздействием внешнего облучения, определяются в основном взаимодействием клеток между собой.

Оценка мощности когерентных излучений клетки. Для оценки мощности, излучаемой клетками, как уже отмечалось в подпараграфе 4.1.2, было использовано постепенно накапливающееся их смещение в поле когерентно излучающих синхронизируемых ЭМИ клеток. При этом в соответствии с [113] могут быть использованы методы, основанные на определении таких параметров, как масса, расстояние и время, позволяющих выделять мощность, связанную с когерентными излучениями, на фоне существенно более мощных потоков теплового излучения, не приводящего к накапливаемым перемещениям.

¹ Эксперименты проводились авторами статьи [84] совместно с К. Н. Гринбергом, О. Ф. Зданович, В. А. Кичаевым и В. А. Полуновским. Биологическая часть эксперимента была поставлена К. Н. Гринбергом и В. А. Полуновским.

Приводимый ниже метод позволяет осуществлять лишь очень ориентировочную оценку — в порядках величин, но более высокой точности, вероятно, и не требуется, так как излучаемый клеткой поток в ходе ее функционирования непрерывно изменяется [53].

Поскольку нетрудно определить массу клетки по ее размерам (плотность внутриклеточной среды близка плотности воды), а среднее смещение клеток за 1 ч в области над центром рупора — по картине, изображенной на рис. 4.6, то несложно вычислить и мощность сил взаимопритяжения, связанную со смещением отдельной клетки. Упрощает вычисления и то, что подвижность клеток в среде можно определить по времени их осаждения на дно в той же чашке Петри под действием силы тяжести. Поскольку речь идет об оценке мощности в порядках величины, то целесообразно для максимального упрощения и повышения наглядности провести вначале анализ в нулевом приближении. Впрочем, при такой ориентировочной оценке близость получаемого результата реально излучаемой мощности определяется не тонкостями эксперимента или расчета, а самим принципом оценки этой величины через произведенную работу по смещению, времени смещения, массе и подвижности клеток.

Подвижность клеток в питательной среде μ определим как коэффициент между силой тяжести F_g

$$F_g = mg, \quad (4.11)$$

где m — масса клетки; g — ускорение силы тяжести, и средней скоростью V_g осаждения клеток в чашке Петри

$$V_g = h/t, \quad (4.12)$$

где h — толщина слоя питательной среды, равная в эксперименте 3 мм; t — время осаждения, равное в эксперименте 1 ч:

$$\mu = F_g/V_g, \quad (4.13)$$

масса клетки равняется произведению ее объема на плотность, близкую по величине плотности воды ($\rho \approx 10^3$ кг/м³). Для клетки диаметром 5...6 мкм $m \approx 10^{-13}$ кг. Вводя по аналогии с силой тяжести среднюю силу, действующую на клетку в направлении, перпендикулярном плоскости симметрии рупора¹ $F_{\perp}$, и принимая среднюю подвижность клеток в разных направлениях приблизительно одинаковой, получаем с учетом (4.13):

$$F_{\perp} = V_{\perp} F_g/V_g, \quad (4.14)$$

где $V_{\perp}$ — средняя скорость смещения клеток в направлении, перпендикулярном плоскости симметрии рупора.

С другой стороны, среднее смещение клеток в направлении, перпендикулярном плоскости симметрии рупора,

$$L_{\perp} = V_{\perp} t, \quad (4.15)$$

¹ Здесь и ниже речь идет о плоскости симметрии, параллельной широкой стенке волновода, возбуждающего рупор.

и, следовательно, с учетом (4.12) и (4.14)

$$F_{\perp} = L_{\perp} F_g / h. \quad (4.16)$$

Мощность, затрачиваемая силами взаимопритяжения на смещение клеток на $L_{\perp}$:

$$P_{\perp} = F_{\perp} L_{\perp} / t = [F_g / h] [L_{\perp}^2 / t]. \quad (4.17)$$

Подстановка в (4.17) приведенных выше значений входящих в нее величин (для наблюдаемых в эксперименте средних значений $L_{\perp}$, равных 3...4 мм за 1 ч) дает

$$P_{\perp} \approx 10^{-18} \text{ Вт}. \quad (4.18)$$

Поскольку же смещение клеток в направлении, перпендикулярном плоскости симметрии рупора, происходит под влиянием сил дистантного взаимодействия клеток (сил их взаимопритяжения), то рационально предположить, что оно определяется излучением клеток. Поэтому, если бы вся мощность излучения клеток, расположенных над центром рупора, была израсходована только на их перемещение, то, поскольку эти перемещения близки по порядку величины, работа каждой из клеток приблизительно равнялась бы работе сил ее перемещения.

Реально, однако, энергия излучения клеток лишь частично расходуется на их смещение, а остальная его часть поглощается средой и превращается в тепло. Эту часть целесообразно учесть при оценочном расчете, проводимом в первом приближении. Следовательно бы учесть также динамику процесса активации, но пока это методически обоснованно сделать невозможно. Но уже нулевое приближение позволило сделать ряд важных выводов.

Прежде всего отметим, что очень малая средняя скорость смещения клеток приводит к тому, что *кинетическая энергия клеток пренебрежимо мала по сравнению с совершаемой работой. Соответственно мала инерция клеток. Это обеспечивает возможность очень точного управления движением* (а управление движением — одна из основных функций управляющих ВЧ-сигналов [44] — см. также гл. 3). Эту точность можно характеризовать тем, что на 10^9 движений приходится всего одна ошибка [51]. По-видимому, прецизионности управления, по крайней мере в некоторой степени, обязана качественно большая эффективность протекания процессов в живых организмах по сравнению с аналогичными процессами, осуществляемыми вне живого организма.

Работа, затрачиваемая на смещение в течение фиксированного интервала времени, пропорциональна квадрату этого смещения. Как следует из (4.11), (4.12) и (4.17),

$$P_a / P_g = L_{\perp}^2 d / h^2.$$

Смещения клеток, на порядок меньшие имевших место в описанном эксперименте, в случае синхронизации генерируемых клетками колебаний, были бы еще различными. Но при отсутствии

внешней синхронизация таких смещений не наблюдалось. Это говорит о том [см. (4.18)], что в рассматриваемых условиях работа сил взаимопритяжения, определяемых когерентным излучением клеток, меньше установленных по данным эксперимента по крайней мере на два порядка.

Приведенная оценка в нулевом приближении не учитывает, однако, ряда существенных сторон явлений.

Во-первых, энергия потока, распространяющегося в изотоническом растворе, снижается вследствие омических потерь в среде на порядок на расстоянии всего 0,5 мм. Поэтому силы, обусловленные излучением каждой из клеток, действительны только на расстояниях, меньших 0,5 мм от ее местонахождения; на больших расстояниях их можно не учитывать.

Как будет показано ниже, более строгой является цифра не 0,5, а 0,2 мм; но для оценок в порядках величин существенного значения это уточнение уже не имеет.

Во-вторых, при указанной выше концентрации клеток во взвеси ($2 \cdot 10^6$ клеток/мл) и их диаметре, близком 5 мкм, суммарная площадь сечения клеток в слое толщиной 0,5 мм составляет всего единицы процентов площади поперечного сечения этого слоя. Следовательно, можно принять, что при исходной концентрации клеток силы взаимопритяжения обеспечиваются не более чем единицами процентов излучаемого потока. Остальная энергия излучения превращается в тепло.

В дальнейшем, однако, по мере стягивания клеток к центру положение изменяется: пропорционально увеличению концентрации клеток в тонком слое около плоскости симметрии рупора возрастает излучаемая этими клетками энергия и одновременно пропорционально этой же величине возрастает отношение суммарной площади клеток в этом слое к площади поперечного сечения слоя (а следовательно, пропорционально возрастанию концентрации возрастает и доля излучаемого потока, используемая на межклеточное взаимодействие). Таким образом, силы межклеточного взаимодействия возрастают в ходе сближения клеток пропорционально квадрату концентрации; скорость смещения клеток под действием этих сил в соответствии с (4.13) и (4.14) также возрастает пропорционально квадрату концентрации, а мощность, связанная с перемещением клеток, возрастает пропорционально четвертой степени концентрации. Бесполезное преобразование энергии излучения в тепло снижается пропорционально возрастанию концентрации.

Ширину области, в которой концентрируются клетки, обозначим S_k (как видно из рис. 4.6, S_k составляет приблизительно треть ширины раскрыва рупора); силу, действующую на клетки на границе этой области, обозначим F_k , скорость смещения клеток V_k , мощность, затрачиваемую на перемещение клеток, P_k .

Если обозначить V скорость смещения границ области (в которой в некоторый момент времени t сосредоточены клетки) по на-

правлению к S_k (см. рис. 4.6), то время, затрачиваемое на стягивание этой области от S к S_k , составит

$$t = \int_{S/2}^{S_k/2} 1/V d(S/2) = [S_k/6 V_k] [S^3/S_k^3 - 1] . \quad (4.19)$$

В табл. 4.1 представлены зависимости от S/S_k нормированного времени $t/[S_k/6 V_k]$ и мощности, затрачиваемой излучением на смещение клетки, изменяющейся пропорционально $(S_k/S)^4$. Как видно из таблицы, в описанном эксперименте около половины пути, пройденного клетками за период их осаждения в чашке Петри, пройдет ими за 0,2 этого периода. Вначале же смещение клеток было медленным и мощность, затрачиваемая на это смещение, была малой. На конечном этапе описанного эксперимента значительная часть мощности (до нескольких десятков процентов полной мощности когерентного излучения клеток) поглощается другими клетками и может быть использована для их смещения. На начальном же этапе движения клеток почти вся излучаемая ими мощность трансформировалась в тепло.

О возможности измерения мощности когерентных излучений клеток вне взвеси. Может показаться, что оцененная мощность когерентных излучений клетки позволяет осуществлять ее измерение вне взвеси, если в приемнике будет концентрироваться мощность синхронизированного излучения многих клеток. В действительности вопрос этот достаточно сложен.

Дело в том, что по мембранам клетки распространяются акустоэлектрические волны, длина волны которых Λ приблизительно в миллион раз короче длины электромагнитных волн в окружающей клетку среде (см. гл. 2). Акустоэлектрические волны в окружающей клетку пространстве не распространяются. На близких расстояниях, меньших $\lambda/8$ от мембран, излучаемое клеткой переменное электрическое поле может направляться «антенной системой» клетки, которая может представлять собой последовательность выступов, смещенных друг относительно друга на дистанцию, равную длине акустоэлектрической волны Λ и имеющих высоту, близкую $\Lambda/4$ [44, 76]. При распространении же на существенно превышающие эту величину дистанции, большие $\Lambda/4$, когда формируются электромагнитные волны, энергия излучения рассеивается больше чем в $(\lambda/\Lambda)^2$ раз или стохастизируется. Последний процесс связан с тем, что создание системы концентрации излучения от хаотически расположенных точечных источников (от

Таблица 4.1

S/S_k	1	1,8	3
$t/[S_k/6 V_k]$	0	4,8	26
P/P_k	1	0,1	0,01

клеток, размеры которых меньше λ в сотни раз) ведет к появлению волн разных типов с различной фазовой скоростью — точечный источник указанных размеров может эффективно возбуждать практически любой тип колебаний в системе. Разброс фаз колебаний, излучаемых разными клетками, связан также с фазовыми сдвигами, определяемыми смещениями клеток во взвеси на расстояния, соизмеримые с длиной электромагнитной волны в питательной среде. Поток приобретает шумовой характер. Концентрация такого потока противоречила бы второму закону термодинамики. Снижение же плотности потока в $(\lambda/\lambda)^2$ раз, т. е. на 10...12 порядков, делает прием излучения при существующем состоянии техники бесперспективным. Именно этим можно объяснить, почему чувствительными радиотермографическими источниками когерентные излучения генерируемых клетками колебаний ни в какой мере не обнаруживаются [112].

Поэтому наиболее простой и целесообразной представляется оценка мощности излучения клеток по его действию в области, прилежащей к клетке (в радиусе, меньшем $\lambda/8$). Этому соответствует описанный выше метод оценки или аналогичные ему методы, связанные с оценкой взаимодействия поля клеток с частицами в окружающей их среде. В частности, близкие к указанной величине значения расстояний между эффективно взаимодействующими стволовыми клетками приведены в [135].

По-видимому, ограничение области действия излучаемой клетками энергии на узкую прилежащую к ним область имеет для них большое биологическое значение. Взаимодействие ближайших друг к другу клеток при репарационных процессах, связанных с местными повреждениями, рационально, в то время как распространение управляющих сигналов на более удаленные области, где в это время могут иметь место и должны устраняться другие нарушения, только внесло бы хаос в эти процессы.

Не останавливаясь подробно, отметим, что вопрос изменения генерируемых клетками когерентных волн вне целостного многоклеточного организма еще более труден, чем разобранный: акустоэлектрические волны распространяются по мембранным каналам, а мощность электромагнитных волн, в которые акустоэлектрические частично преобразуются, мала даже по сравнению с акустоэлектрическими.

Наконец, заметим, что плотность потоков КВЧ-энергии, используемых в экспериментах и клинике для обеспечения биологического действия, связанного с синхронизацией собственных когерентных излучений клеток, более чем на 10 порядков превышает их плотность в облучаемой зоне, что определяется, по-видимому, в первую очередь не омическими потерями, а потерями при трансформации электромагнитных волн в акустоэлектрические (относительные потери при трансформации акустоэлектрических волн в электромагнитные равны потерям при трансформации электромагнитных волн в акустоэлектрические).

4.1.5. ОЦЕНКА МОЩНОСТИ ИЗЛУЧАЕМЫХ КЛЕТКАМИ КОГЕРЕНТНЫХ ВОЛН ПО РАЗМЕРАМ ОРЕОЛОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ГИПЕРТОНИЧЕСКОМ РАСТВОРЕ¹

Как уже отмечалось (см. подпараграф 4.1.4), мощность, излучаемых клетками когерентных волн может быть оценена не только по силам взаимопритяжения, определяемым активными диполями клеток в изотоническом растворе, но и по силам взаимоотталкивания клетки и диэлектрических частиц в гипертоническом растворе — существенно только, чтобы силы взаимопритяжения и взаимоотталкивания не действовали одновременно (см. подпараграф 4.1.3).

Для оценки потока мощности по силам взаимоотталкивания могут быть использованы статические картины ореолов вокруг излучающих клеток, наблюдающиеся при добавлении в раствор частиц туши в концентрациях, достаточных для получения контрастных изображений в микроскопе (рис. 4.7).

Методика расчета. В § 4.1 уже было использовано выражение (4.2), описывающее взаимодействие активного диполя с диполями, наведенными им в находящихся в окрестности диэлектрических частицах, имеющих сферическую форму:

$$W_{\text{ор}} \approx \frac{2,5 d^2 a^3 (\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\epsilon_2^2 (\epsilon_1 + 2 \epsilon_2) R^6}. \quad (4.20)$$

В данном случае это выражение должно быть модифицировано.

Во-первых, для частиц туши ϵ_1 мало (много меньше ϵ_2). Поэтому выражение

$$\frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_2^2 (\epsilon_1 + 2 \epsilon_2)},$$

может быть при оценочных расчетах заменено на $0,5\epsilon_2^2$ (в данном случае речь идет лишь об ориентировочной оценке в порядках величин).

Во-вторых, в рассматриваемой задаче речь идет не об отдельной диэлектрической частице, а о множестве частиц, которые при существенных их концентрациях взаимодействуют не только с излучающей клеткой, но и друг с другом (см. рис. 4.8). Поэтому любое изменение поляризации частиц в одном месте влияет на изменения поляризации окрестных частиц. В этих условиях энер-

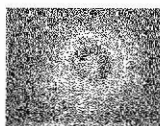


Рис. 4.7. Клетка с образовавшимся вокруг нее ореолом

¹ Работы выполнены совместно с Н. А. Савостьяновой и Т. П. Тарасовой.

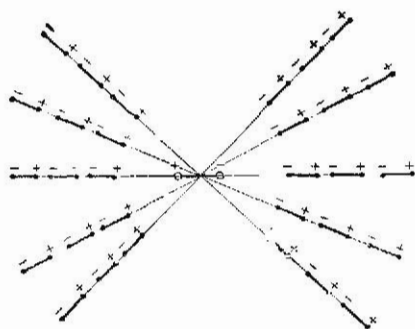


Рис. 4.8.

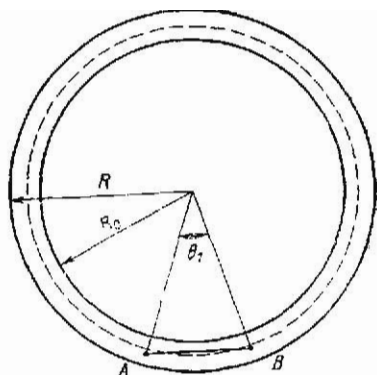


Рис. 4.9.

Рис. 4.8. Схема расположения наведенных диполей за границами ореола

Рис. 4.9. Сфера, в пределах которой средняя энергия воздействия активного диполя клетки с наведенными диполями диэлектрических частиц снижается в e раз:

штриховой линией обозначена средняя сферическая поверхность. Отрезок AB ограничивает область, в которой передача энергии от движущейся по линейной траектории молекулы частицы туши максимальна

гия взаимодействия клетки с окружающими частицами может быть оценена только интегрированием по всей области расположения поляризованных частиц.

Если к тому же учесть броуновское вращение клетки, то в среднем на любой из микрообъемов за границами ореола действует одинаковая сила. Это упрощает суммирование по всем угловым координатам. Что же касается суммирования по радиусу, то, учитывая быстрое снижение энергии взаимодействия с радиусом, интегрирование рационально провести лишь в узком диапазоне значений R между границей ореола R_0 и радиусом R_1 , вне которого энергия взаимодействия снижается в e раз:

$$\int_{R_0}^{R_1} \frac{dR}{R^6} \left/ \int_{R_1}^{\infty} \frac{dR}{R^6} \right. = \frac{R_0^{-7} - R_1^{-7}}{R_1^{-7}} \approx e, \quad (4.21)$$

т. е. $R_1/R_0 \approx 1,2$.

Масштабное изображение этой сферы в сечении приведено на рис. 4.9. С учетом сделанных замечаний выражение (4.20) можно упростить:

$$W_{cp} \approx \frac{0,75 d_{эф}^2}{\epsilon_2^2 R_0^3}, \quad (4.22)$$

где $d_{эф}$ — эффективное значение дипольного момента клетки.

Величина R_0 известна из экспериментов. Для оценки ее можно принять равной 6 мкм (эта величина зависит от интенсивности излучения и во времени изменяется). Для КВЧ-диапазона ϵ_2 , как уже отмечалось в подпараграфе 4.1.3, близка 20.

Но для оценки интенсивности КВЧ-излучения клетки необходимо еще определить $d_{\text{эф}}$. А для этого, в свою очередь, нужно установить, что ограничивает ореол и не позволяет частицам туши расходиться на большие расстояния. Поскольку речь идет о пассивных частицах, можно утверждать, что это ограничение связано с тепловым движением молекул в растворе (броуновским движением), характеризующимся энергией kT . Когда часть этой энергии, преобразуемая в кинетическую энергию движения частиц туши к центру сферы, становится равной $W_{\text{эф}}$, расхождение частиц от клетки прекращается. При радиусах, меньших R_0 , преобладают силы отталкивания частиц от клетки, при больших — некомпенсируемое силами отталкивания движение частиц туши к области, занятой ореолом. С учетом высказанных выше соображений о взаимосвязи наведенных в частицах туши диполей выражение (4.22) преобразуется к виду

$$\frac{0,75 d_{\text{эф}}^2}{\epsilon_2^2 R_0^3} = \alpha k T, \quad (4.23)$$

где α — коэффициент пропорциональности, величина которого будет обсуждена ниже. Из (4.23) следует, что

$$d_{\text{эф}}^2 \approx 1,3 \epsilon_2^2 R_0^3 \alpha k T. \quad (4.24)$$

Излучаемый поток энергии I равняется [109]

$$I = \frac{2}{3} \frac{\omega^4 d_{\text{эф}}^2}{c^3}. \quad (4.25)$$

Из (4.24) и (4.25) следует, что

$$I \approx 0,87 \frac{\omega^4 \epsilon_2^2 R_0^3 k T}{c^3} \alpha. \quad (4.26)$$

Как можно ориентировочно оценить α ?

Прежде всего заметим, что если концентрация частиц туши обеспечивает сильную взаимосвязь между ними (влияние ослабления взаимосвязи будет обсуждено ниже), то речь может идти о деформации обсуждаемой сферы как связанного целого.

Есть ли условия, при которых $\alpha \approx 1$? Обеспечить условия для передачи энергии движущейся молекулы сферы по всей ее поверхности, по-видимому, нельзя. Но можно мысленно представить себе имитирующую молекулу сферическую частицу (назовем ее виртуальной) с диаметром, равным внешнему диаметру сферы, все точки которой движутся по направлению к центру, сжимая сферу, причем суммарная кинетическая энергия движения стенок этой частицы по направлению к центру равнялась бы kT . В этих условиях α , действительно, равнялось бы 1.

Но реальные молекулы движутся по траекториям, близким к линейным. Благодаря взаимодействию электрических полей частиц туши и наведенных полей в молекуле, кинетическая энергия последней постепенно передается частицам туши и часть ее транс-

формируется в кинетическую энергию движения по направлению к центру.

Максимальная передача энергии осуществляется при наибольшей длительности движения молекулы в теле сферы, что соответствует траекториям, лежащим в плоскости, почти касающейся средней сферической поверхности (см. рис. 4.9). Именно на максимальную передачу энергии следует рассчитывать, когда речь идет об ограничении диаметра ореола (хотя для оценки в порядках величин это и не очень принципиально).

Если мысленно развернуть поверхность виртуальной частицы в плоскость, то, судя по рис. 4.9, участок пересечения плоскости со средней частью сферы составит приблизительно лишь часть ее поверхности

$$\beta \approx \frac{\pi R_0^2 \sin^2(\theta_1/2)}{4\pi R_0^2} = 0,25 \sin^2(\theta_1/2). \quad (4.27)$$

В пределах такого участка поверхности электромагнитные поля обеспечат взаимодействие молекулы с частицами туши. Этой величине β пропорциональна α [см. (4.23)].

Нужно также учесть, что в кинетическую энергию движения частиц туши по направлению к центру ореола может быть преобразована лишь часть энергии молекулы, переданной указанным частицам. Воспользовавшись рис. 4.9, можно оценить эту часть, она составляет приблизительно $0,25 \sin^2(\theta_1/2)$, т. е. также равняется β , и то лишь в области, составляющей около 0,1 площади сечения сферы плоскостью (естественно, уточнять последний коэффициент в рамках порядковой оценки нерационально).

Подставляя эти величины в (4.26), получаем

$$I \approx \frac{0,1 \omega^4 \varepsilon_2^2 R_0^3 kT}{c^3} \beta^2. \quad (4.28)$$

При $\varepsilon_2=20$; $kT=4 \cdot 10^{-14}$ эрг, $\omega=2\pi \cdot 5 \cdot 10^{10}$, $R_0=6$ мкм, $\alpha_1=36^\circ$ это дает

$$I \approx 10^{-10} \text{ эрг/с} = 10^{-17} \text{ Вт.}$$

На полученный результат не может не влиять плотность взвеси частиц туши и их размеры. Но это влияние, по-видимому, невелико, так как снижение плотности взвеси и сокращение размеров частиц, с одной стороны, уменьшает их влияние друг на друга; при этом облегчается смещение частиц под влиянием воздействующих на них сил. С другой стороны, те же факторы приводят к снижению доли энергии, передаваемой частицам туши (энергетически связанными с клеткой) движущимися молекулами: сокращается число эффективных взаимодействий молекулы с указанными частицами туши. Эти факторы, по крайней мере, в значительной части взаимокompенсируются.

* * *

Приведенные результаты оценки мощности, излучаемой клеткой в период ее максимальной мобилизации (когда она борется с нарушениями функционирования, вызванными лимфолейкозом), основаны на экспериментах, в которых проявляется действие сил взаимоотталкивания. Но они близки по порядку величины результатам подпараграфа 4.1.4, полученным при использовании для оценки сил взаимопритяжения между клетками. В то же время нужно подчеркнуть ориентировочность обеих оценок, относящихся к тому же к разным типам клеток.

Их значимость определяется не абсолютной точностью, а тем, что, с одной стороны, они позволяют установить явления, на которых могут строиться оценки этого параметра, а с другой — использовать результаты оценок для приближенного анализа влияния генерируемых клетками когерентных колебаний на происходящие в них (клетках) процессы.

4.2. ВЫПОЛНЕНИЕ КОГЕРЕНТНЫМИ ВОЛНАМИ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕЖКЛЕТОЧНЫМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОЦЕССАМИ В ОРГАНИЗМЕ

4.2.1. РАМКИ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОФИЗИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭМИ

После анализа механизма генерации клетками когерентных волн (см. гл. 2), использования этих волн для управления внутриклеточными процессами (см. гл. 3), исследования основных их особенностей и характера силового взаимодействия с клетками как единой системой (см. § 4.1) можно перейти к обсуждению возможных путей управляющего (информационного) воздействия когерентных излучений на функционирование живых организмов разной сложности организации — от одноклеточных до млекопитающих. При этом естественно выделить и рассмотреть отдельно в принципе различные по характеру системы управления функционированием: в ближайшем к клетке окружении и на уровне сложного многоклеточного организма.

Сразу подчеркнем, что сегодняшний уровень знаний не позволяет достаточно полно описывать биофизические аспекты управления функционированием организмов излучениями рассматриваемого диапазона. Речь может идти лишь о кратком изложении известных данных. Однако и такое изложение может быть полезным, так как широкое применение ЭМИ в медицине и биологии набирает темп, и к нему подключаются все новые специалисты, ранее не имевшие с ним дела. Ознакомление же с обширной периодической литературой по проблеме, публиковавшейся в разных изданиях в течение 25-летнего периода и отразившей многие следующие во времени одно за другим уточнения и изменения взглядов ученых на проблему, не может компенсировать краткого изложения накопленных знаний в одной монографии.

4.2.2. О ХАРАКТЕРЕ И ПОЛНОТЕ РАДИОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ, ПЕРЕДАВАЕМОЙ ОТ ОДНИХ АВТОНОМНО ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ КЛЕТОК К ДРУГИМ ПРИ ДИСТАНЦИОННОЙ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕРИРУЕМЫХ ИМИ КОГЕРЕНТНЫХ ВОЛН¹

В § 4.1 было описано дистанционное взаимодействие клеток, генерирующих когерентные колебания на одной и той же частоте (равенство частот обеспечивалось взаимной или внешней синхронизацией). Ранее в гл. 3 были проанализированы процессы, связанные с использованием генерируемых изолированными, автономно функционирующими клетками когерентных колебаний и волн (так же, как и имитирующих эти колебания внешних когерентных излучений малой интенсивности), для управления происходящими в них восстановительными и приспособительными процессами. Достаточно вероятно, что одной из функций упомянутого дистанционного взаимодействия между клетками с помощью когерентных волн является управление некоторыми восстановительными и приспособительными процессами в клетках, но в этом случае речь идет о процессах, по своему характеру общих для всей совокупности взаимодействующих клеток.

В настоящем подпараграфе кратко обсуждается возможный радиофизический механизм этого управляющего действия и его направленность.

Естественно, при рациональной системе управления автономно функционирующими особями (в данном случае клетками) приходящие извне управляющие сигналы не должны навязывать управляемым особям однозначный способ действий, так как по разным причинам условия функционирования членов популяции могут отличаться друг от друга. Любые процессы, не связанные непосредственно с условиями, определяемыми внешней по отношению к автономной системе средой, должны регулироваться самой системой. При такой организации управления затраты энергии на ее реализацию сводятся к минимуму и обеспечивают наибольшую четкость выполнения управляющих функций. Применительно к клеткам это означает, что извне от других клеток должна поступать лишь информация о появлении неблагоприятных факторов, требующих приспособления всех особей к функционированию в условиях их действия, и благоприятных факторов, требующих перестройки особей для оптимального их использования.

Однако с точки зрения физики такие рассуждения представляются слишком общими. Необходимо выяснить, как обеспечивается передача именно указанной информации и как реализуется «запись» ее смыслового содержания.

В § 3.2 обосновывается гипотеза, говорящая о том, что восприятие информации о внутриклеточных нарушениях и обработка

¹ Исследования выполнены одним из авторов совместно с П. В. Поручиком.

этой информации являются образными: Образ нарушения кодируется в частоте возбуждающихся в мембранах акустоэлектрических волн, амплитуде этих колебаний и их пространственном распределении. Частота возбужденных волн определяется формой искажений мембраны. Характер же отклонения функционирования от нормы определяется не только формой, но и локализацией искажений формы мембраны относительно органоидов клетки. Степень нарушения связана со степенью искажения мембраны.

Информация о характере и степени нарушений, закодированная в образе, формируемом полем возбуждаемых акустоэлектрических волн, осуществляет управление процессами устранения нарушений, вызвавших генерацию этих волн. Процессы устранения нарушений и поддержания гомеостаза являются автономными: для их протекания нужно только, чтобы условия существования (питания, дыхания, температуры и т. п.) не очень существенно отклонялись от нормы: обмен информацией с другими особями той же популяции для их поддержания не требуется.

Однако деформации мембран зависят от степени нарушения нормальных условий функционирования. При очень значительных нарушениях степень деформированности возрастает. В этом случае начинается заметное излучение энергии волн во внешнее пространство (см. § 3.1). Происходит трансформация волн из акустоэлектрических в электромагнитные, длина которых при той же частоте колебаний (обозначим ее ω), как уже отмечалось, на шесть порядков больше длины акустоэлектрических волн. Появление электромагнитных волн приводит к двум следствиям: а) элементы белковых подструктур, образующихся на мембранах в ходе устранения нарушений, оказываются удаленными друг от друга на расстояние Λ (Λ — длина акустоэлектрической волны), б) появление периодической системы удаленных друг от друга на расстояние Λ элементов приводит к излучению и приему извне волн на частоте ω , соответствующей Λ . Таким образом, излучение и прием этих волн сопутствуют значительному отклонению условий функционирования от нормы, т. е. как раз тем условиям, при которых, как было отмечено выше, в рационально организованных системах автономно функционирующих особей появляется необходимость в поступлении извне информации об этих отклонениях, — нужна организация скорейшего приспособления членов популяции к новым условиям.

Передача информации с помощью электромагнитных волн, длина которых на три порядка больше размеров клетки, обеспечивает единообразие сигналов, воспринимаемых всеми особями в достаточно большой окрестности, в которой можно ожидать подобия в изменении условий существования. Впрочем, как было показано еще в [43, 105], в занятой популяцией области сигналы могут передаваться и на значительно большие расстояния.

Передача информации с помощью лишь одного фактора (частоты колебаний) из трех, участвующих в формировании образа создает условия для оптимального управления. Действительно,

хотя нарушения в мембранах (управляющих структурах) каждой из клеток могли вначале быть различными в силу разных условий существования и развития, электромагнитные колебания частоты ω приводят к возбуждению в мембранах всех клеток акустоэлектрических волн с длиной волны Λ и образованию на их мембранах подструктур с элементами, удаленными друг от друга на расстояние Λ (см. гл. 3).

Если такие подструктуры для одной из клеток популяции оптимальны для устранения источника нарушений условий функционирования или приспособления к нему, то же будет иметь место и для других клеток той же популяции [44].

В то же время образование подструктур в клетке в соответствии с приведенным в гл. 3 описанием, говорит, по-видимому, о последовательном устранении искажений мембран: вначале ликвидируются наибольшие из них, так как к ним подтягивается наибольшее число белковых молекул, затем меньшие и т. д. (следует учесть также нелинейность процесса), т. е. процесс нормализации происходит постепенно и соответствует наименьшим возможным отклонениям от нормы в каждый данный момент. Для разных клеток той же популяции соотношения размеров отдельных искажений могут отличаться друг от друга в силу отмеченных выше исходных различий в условиях функционирования. В этом случае оптимальный порядок устранения нарушений в разных клетках также должен быть различным. Очевидно, передача информации только с помощью электромагнитных волн (а не всех факторов кодирования образа) оптимальным образом отвечает выполнению и этого условия.

Таким образом, описанный процесс обмена радиофизической информацией оптимален как с точки зрения простоты реализации физического (радиоэлектронного) механизма, так и с точки зрения оптимизации последовательности восстановительных и приспособительных процессов для каждой из автономно функционирующих особей популяции.

Эффективность внешнего воздействия на многоклеточные структуры когерентными излучениями малой интенсивности, генерируемыми техническими источниками, имитирует в известной степени описанный процесс межклеточного взаимодействия, протекающий при наступлении условий, нарушающих нормальное функционирование популяции.

Однако популяции клеток далеко не всегда состоят из автономно функционирующих особей. Во многих случаях, и в первую очередь в многоклеточных организмах, клетки функционируют кооперативно; при этом нормальным является глубокое влияние процессов жизнедеятельности одних клеток на процессы жизнедеятельности других. Кооперативного функционирования описанный в настоящем подразделе процесс управления обеспечить не может. Специфические особенности соответствующей ему информационной связи между клетками будут обсуждены в следующем подпараграфе.

4.2.3. УПРАВЛЯЮЩЕЕ СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В КООПЕРАТИВНО ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ КЛЕТОЧНЫХ АНСАМБЛЯХ

Как уже отмечалось, кооперативному функционированию клеток присуща глубокая связь между ними. По-видимому, кооперация при этом может быть как простой, так и сложной. Простой кооперацией назовем такую, при которой все клетки ансамбля выполняют одинаковые (или почти одинаковые) функции, сложной — такую, при которой роль входящих в ансамбль клеток (а следовательно, и характер протекающих в них процессов) существенно различна, т. е. при образовании ансамбля имеет место дифференцировка клеток.

В терминах информационной роли генерируемых клетками когерентных волн простая кооперация может быть понята как средство усиления управляющего действия излучения на входящие в ансамбль клетки по сравнению с управляющим действием этих волн в одиночной клетке. Действительно, как уже отмечалось в § 2.1, если по тем или иным причинам (старение, болезни), вызывающим уменьшение степени когерентности генерируемых клетками волн, эффективность процесса управления снижается, то процессы устранения возникших нарушений растягиваются во времени, а могут и вообще не приводить к их устранению. Для одиночной клетки это неизбежно приведет к расстройству ее функционирования или гибели. В случае же клеточного ансамбля, включающего большое число сильно связанных по полю клеток, когда суммарный когерентный сигнал возрастает [40], снижение степени когерентности сигнала одной из клеток (или малого числа клеток ансамбля) может еще не приводить к расстройству деятельности кооперированной системы¹. Вероятно, этот случай может быть проиллюстрирован работой [57], согласно которой у экспериментальных животных со слабым межклеточным взаимодействием склонность к новообразованиям при старении организма оказывается существенно большей, чем у экспериментальных животных с сильным межклеточным взаимодействием.

¹ Усиление информационного (управляющего) взаимодействия при появлении неблагоприятных факторов имеет место и в случае описанных в предыдущем подразделе ансамблей, состоящих из автономно функционирующих клеток. Это явление можно наблюдать, например, в случае, когда взвесь клеток в гипертоническом растворе подвергается неглубокому охлаждению до температур, составляющих несколько градусов Цельсия, когда энергетические процессы в клетках замедляются и последние переходят в состояние анабиоза [78]. Информационный обмен в клеточном ансамбле при этом не только не снижается, но даже возрастает. При понижении температуры в клетках уменьшается количество свободной воды, разность значений ϵ раствора и клетки возрастает, и при введении в раствор частичек туши вокруг клеток образуются ореолы, причем формируются они быстро (за время порядка одного часа) по сравнению с длительностью образования ореолов при температурах, оптимальных для жизнедеятельности. Быстрое образование ореолов говорит об усилении излучения клетками когерентных волн, с помощью которых осуществляется информационная связь между ними. Таким образом, в описанном случае усиление информационной связи является естественной реакцией на неблагоприятное воздействие на ансамбль.

Другим характерным примером является продемонстрированное в условиях клиники предотвращение воздействием ЭМИ метастазирования (доходящее даже до ликвидации уже начавших образовываться метастазов) после хирургического удаления меланомы [120]. Подробнее это и другие подобные исследования разбираются в следующей главе.

Как осуществляется усиление взаимодействия между клетками при их сближении и как оно обеспечивается генерацией когерентных волн клетками, можно понять из рис. 4.10, приведенного в [53]. На поверхности мембран образуется белковая подструктура, состоящая из элементов (выступов), смещенных друг относительно друга, как это было описано в гл. 3, на А. После соприкосновения образовавшихся выступов (септ) с другой мембраной длина этих выступов начинает сокращаться (так называемая ретракция); в конечном итоге выступы исчезают и между мембранами клеток устанавливается плотный контакт. Место контакта между клетками одного и того же вида не произвольно: вероятно, контактируют между собой определенные участки мембран, в которых расположены так называемые молекулы адгезии клеток [58].

Важно отметить и другое: взаимодействие клеток после образования их плотного контакта (взаимодействие близкого действия) нельзя уже с уверенностью приписать только действию генерируемых клетками когерентных волн. Силы близкого действия при плотном контакте очень значительны. Так, в [54] отмечается, что форма мембран эритроцитов при их сближении изменяется незначительно. При попытке же растягивания клеток после слипания их оболочка вытягиваются подобно смазаным липким маслом обочкам надувных шариков, когда их пытаются растянуть после соприкосновения. Иными словами, силы дальнего действия, управляющие процессом сближения клеток, после соприкосновения последних уступают место значительно большим силам близко-

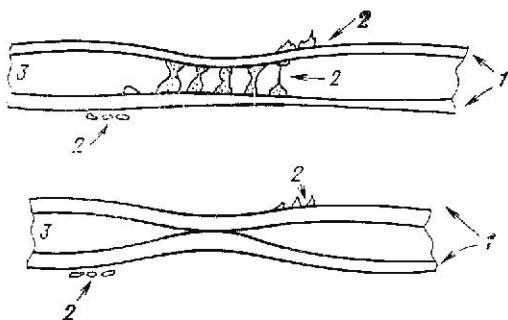


Рис. 4.10. Появление периодической структуры выступов-септ у поверхности мембран после неблагоприятных воздействий на клетку и образование в результате их сокращения после соприкосновения с другой мембраной контакта подтянутых друг к другу мембран:

1 — мембраны; 2 — материал, адгезированный с мембраной и образующий выступы-септы; 3 — межклеточная щель [53]

действия, т. е. характер явлений напоминает описанный в гл. 3 процесс качественного изменения сил взаимодействия мембран с притягиваемыми к ним белковыми молекулами при наступлении контакта (некоторые аспекты этого вопроса анализируются в § 5.1).

Перейдя к сложной кооперации между клетками, отметим прежде всего необходимость в дифференцировке клеток, определяемой тем, что разные клетки одного организма хотя и обладают почти одинаковым геномом, но выполняют в организме резко различные функции (например, клетки разных органов). Дифференцировка наступает уже в ходе эмбрионального развития, когда, вероятно, под действием полей, окружающих клетку, вновь возникающие клетки формируются в условиях, отличающихся от условий, при которых формировались клетки ранее образовавшейся структуры. Можно предположить, что взаимовлияние клеток ограничивает и рост организма определенными пределами. Подобно тому, как это было показано в гл. 3 применительно к отдельной клетке, вероятно, окончательная форма организма и его органов характеризуется некоторой электрической симметрией, выражающейся в прекращении излучения во внешнее пространство, вызывающего изменение формы системы¹. Конечно, происходящие при этом физические явления нуждаются в более тщательной проработке.

Дифференцировка клеток происходит не только в ходе процесса эмбрионального развития, но и в ходе восстановительных процессов после травм, когда восстанавливается нарушенная ткань или орган, включающий клетки, выполняющие различные функции. Биологический подход к вопросу говорит о том, что вновь возникающие при этом процессе клетки, восполняющие вышедшие из строя, должны в максимально возможной степени повторить последние. Но к тому же выводу приходишь и с позиций радиофизики, принимая, как это было сделано выше, что дифференцировка вновь возникающих клеток определяется полями когерентных волн окружающих клеток, сохранившихся при травме неповрежденными. Конечно, процессы эмбрионального развития и восстановления тканей после травмы не идеально воспроизводят друг друга, так как последовательность возникновения новых клеток в этих случаях различна, но сходство между ними очень велико [70].

4.2.4. ПЕРЕДАЧА УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ В ОРГАНИЗМЕ НА БОЛЬШИЕ РАССТОЯНИЯ; УПРАВЛЕНИЕ НА УРОВНЕ ОРГАНИЗМА

Ранее были рассмотрены вопросы информационной связи клетки со своим окружением. Однако эксперименты и исследования, проводившиеся на млекопитающих и на организме челове-

¹ Интересные данные о роли симметрии см. также в [172].

ка, показали, что управляющие действия ЭМИ могут передаваться в пределах всего организма, т. е. на достаточно большие расстояния. Уже в первой работе, посвященной информационным действиям ЭМИ [19], были указаны три возможных канала передачи: нервная система, гуморальная система и система точек акупунктуры [131] (возможно более правильным и общим было бы говорить применительно к ЭМИ не о точках акупунктуры, а о зонах Захарьина — Геда). В силу недостаточной изученности характера передачи через систему точек акупунктуры трудно утверждать, насколько самостоятельна ее роль. Многие склоняются к мысли, что в этом случае сигналы действия также распространяются через нервную и гуморальную систему. Возможно, в какой-то мере справедливо утверждение древних медиков о «переключении» энергии при иглоукалывании [79]. Возможность изменения направления сигналов при их передаче по нервной системе будет кратко обсуждена ниже.

У крупных животных и человека расстояние от облучаемой области до области, являющейся целью действия ЭМИ, может значительно превышать расстояние, соответствующее практически полному затуханию ЭМИ в тканях (см., например, [30, 31]). Тем не менее принципиальных трудностей объяснение факта распространения ЭМИ не вызывает: в живых организмах, располагающих значительной (по сравнению с сигналами ЭМИ) мощностью метаболизма, периодическое усиление слабых сигналов не связано с неприемлемыми для организма энергетическими затратами. Такого рода процессы передачи в живых организмах в литературе описывались неоднократно (см., например, [56]).

Однако целесообразно попытаться не только установить общее сходство, но и отразить некоторую специфику этого процесса для случаев, связанных с распространением ЭМИ.

Определенные предположения на этот счет содержатся в работе [54], где высказываются мысли о возможности распространения ЭМИ или по мембранам нервных волокон, или по микротрубочатым структурам, располагающимся вдоль аксоплазмы, или через глиальные клетки, повсеместно окружающие мембраны нервов.

На мысль о передаче ЭМИ через нервную систему наводят и многочисленные эксперименты, в которых наблюдалось прекращение такой передачи при анестезии.

На наш взгляд, приведенное выше обсуждение процессов возбуждения мембран в сочетании с морфологическими исследованиями работы [53] позволяют сделать следующий шаг, уточняющий предположения о путях распространения ЭМИ по нервной системе на большое расстояние. Дело в том, что на поверхности аксонов нервных клеток имеются свернутые в многослойную спираль миелиновые оболочки (обратим сразу внимание на то, что миелиновые оболочки — это липидные оболочки, и потери в них при распространении акустоэлектрических волн относительно малы). Расстояние между средними линиями последовательных сло-

ев миелиновой оболочки составляет около 100 Å, т. е. в соответствии с данными анализа § 2.2 благоприятствует распространению акустоэлектрических волн рассматриваемого диапазона. Однако в нормальных условиях эти волны через указанные оболочки распространяться не могут, так как через небольшие интервалы вдоль этих оболочек они прерываются так называемыми перехватами Ранвье, в которых миелиновые оболочки отсутствуют или предельно утоньшаются, так что волна, не имея пути для перехода к следующему интервалу, окруженному миелиновой спиралью (рис. 4.11), полностью отражается.

В случае неблагоприятных воздействий на организм, когда вырабатываются когерентные сигналы (см. § 2.2), положение изменяется. По-видимому, именно под действием этих сигналов, когда их величина превышает некоторое пороговое значение, на краях спиралей, на границе с перехватами Ранвье образуются большие септированные контакты [53] (рис. 4.12). В области этих контактов образуются спиральные каналы, заполненные цитоплазмой, через которые акустическая волна может быть согласована с нервом и через ближайший септированный контакт возбудить следующий участок миелиновой спирали. В ходе такого последовательного возбуждения может регулироваться и канал, по которому будет происходить передача энергии. Существенно, что, как только восстанавливается нормальное состояние клеток (т. е. когда необходимость в управляющих сигналах исчезает), восстанавливается исходное состояние нерва [53]. Конечно, эта картина нуждается в детализации и проверке. Но если принять, что она в основных чертах отражает истинную картину развития процесса, то этот механизм будет содействовать еще более экономному расходованию энергии когерентных сигналов, выработка которой в организме связана с большими энергетическими затратами: экономия, определяемая ничтожной амплитудой генерируемых колебаний в периоды, когда процессы в клетках протекают нормально, дополняется экономией за счет устранения потерь при передаче энергии: передача энергии в период, когда процессы в клетках протекают нормально, вообще отсутствует.

Небезынтересно рассмотреть также в качестве гипотезы, подтверждаемой данными некоторых исследований, и еще один сле-

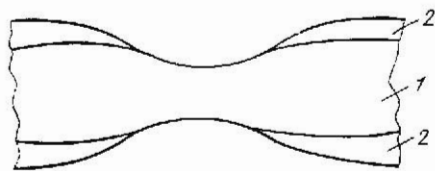


Рис. 4.11. Схематическое изображение участка нерва с перехватом Ранвье: 1 — нейтроплазма; 2 — компактная миелиновая намотка [53]

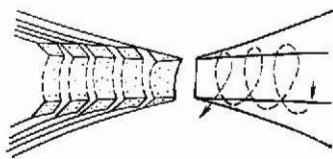


Рис. 4.12. Образование спирального цитоплазматического канала и большого септированного контакта на границе перехвата Ранвье [53]

цифический для многоклеточных организмов путь распространения сигналов.

В гл. 2, 4 и в [114] описывались эксперименты, подтверждающие наличие генерации когерентных колебаний различными клетками крови. Кровеносная и лимфатическая системы, как известно, обеспечивают как обмен веществ, так и обмен информацией в организме. А поскольку при нарушениях функционирования последнего оптимизация процессов восстановления может требовать изменения характера обмена веществ, важную роль в котором играет иммунная система [72], то это должно сказываться на приспособлении клеток крови к новым условиям. Так как обмен веществ и обмен информацией происходит между клетками, то важное значение в связанных с ним процессах должны иметь межклеточные контакты, осуществляемые с помощью генерируемых клетками когерентных сигналов (более подробно этот вопрос разбирается в гл. 5). При этих контактах могут осуществляться взаимная синхронизация колебаний в клетках и соответственно их электрическая перестройка. Например, в [69] отмечается, что 15 ... 60-минутный контакт тимоцитов и клеток лимфатических узлов с аллогенными антигенами тканевой совместимости вызывает конформационные изменения плазматических мембран, характер и степень выраженности которых зависят от дозы антигена и времени экспозиции. Обращает на себя внимание тот факт, что различные заболевания отражаются в изменениях клеток крови [63], причинную связь которых с характером заболеваний до настоящего времени удавалось установить далеко не всегда, причем, как это следует из [72], клетки иммунной системы принимают активное участие в любых процессах адаптивного роста. В пользу высказанной гипотезы говорит и зафиксированное во многих исследованиях сильное влияние ЭМИ на активность иммунной системы (подробнее см. гл. 5).

Таким образом, хотя распространение когерентных волн через среды, циркулирующие по каналам гуморальной регуляции, невозможен, клетки, распространяющиеся по этим каналам и генерирующие когерентные сигналы, могут, по-видимому, благодаря явлению взаимной синхронизации колебаний с другими клетками организма устанавливать связь различных частей организма и по этим каналам.

В свете недавно опубликованных исследований [149] можно предположить существование комплексных каналов связи, например, через нервную и иммунные системы. Но, конечно, вопрос о системах связи на КВЧ на дальние дистанции в пределах организма требует значительно более серьезного изучения; пока он изучен недостаточно.

НЕКОТОРЫЕ БИОФИЗИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОГЕРЕНТНЫХ ВОЛН В МЕДИЦИНЕ

5.1. ПОДХОД К МЕХАНИЗМАМ ИММУНОЛОГИИ С ПОЗИЦИИ РАДИОФИЗИКИ

Хотя чисто медицинские вопросы в настоящей работе не рассматриваются, представляется целесообразным на основе анализа, проведенного в предшествующих главах, рассмотреть некоторые биофизические аспекты использования когерентных волн, в первую очередь ЭМИ, применительно к задачам терапии и диагностики и продемонстрировать на конкретных примерах особенности радиофизического подхода к решению этих задач.

5.1.1. ОСОБЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ

В работах [120, 125], в известной мере освещавшихся в предшествующих главах, была продемонстрирована продуктивность анализа механизмов, управляющих восстановительными и приспособительными процессами в живых организмах (процессами адаптивного роста), с позиций радиофизики и показана роль когерентных акустоэлектрических и электромагнитных волн в этих процессах. В настоящем параграфе делается попытка подойти с тех же позиций к некоторым важнейшим механизмам, относящимся к одной из наиболее сложных ветвей медицины — иммунологии — науке о защите организмом своих индивидуальных наследуемых свойств от генетически чуждых ему (несущих иную наследственную информацию) агентов. Общебиологическая важность такой защиты определяется, по-видимому, тем, что именно различие индивидуальных возможностей организмов обеспечивает расширение возможностей популяции в борьбе за существование.

В данном параграфе обсуждается и обосновывается гипотеза, утверждающая, что связь между клетками и другими элементами, участвующими в процессе иммунной защиты, как и в упомянутых выше процессах адаптивного роста, осуществляется с участием генерируемых клетками когерентных акустоэлектрических и электромагнитных колебаний. Данный подход, по мнению авторов, упрощает понимание сложнейших проблем иммунологии, целесообразности используемых организмом биофизических механизмов защиты, исключительной экономности расходования организмом материальных средств и энергии при их реализации, необходимости их взаимосвязанного действия и т. п.

Для облегчения чтения данной главы читателям, не имеющим медицинского образования, ниже кратко излагаются необходимые понятия и терминология, используемые в иммунологии.

5.1.2. НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕРМИНОЛОГИИ И ОБСУЖДАЕМЫХ МЕХАНИЗМАХ ИММУНОЛОГИИ

Как уже отмечалось, иммунология по определению — это наука о механизмах (генетических, молекулярных и клеточных), с помощью которых организм защищается от живых тел и веществ, несущих на себе признаки генетической чужеродности, т. е. несущих наследственную информацию, отличную от информации о наследуемых свойствах этого организма. Живые тела и вещества, несущие генетическую информацию, называются антигенами. Если это информация о наследуемых свойствах данного организма, антигены называются собственными; если же информация отлична от информации о наследуемых свойствах данного организма, антигены называются чужеродными [121]. Система защиты организмом своих индивидуальных наследуемых свойств называется иммунной системой. Для иммунной защиты от определенного чужеродного антигена организм синтезирует белки, обладающие способностью взаимодействовать с этим антигеном и называемые антителами. Существует два основных способа защиты от чужеродного вторжения: а) клеточный иммунный ответ, особенно эффективный против грибов, паразитов, раковых клеток и чужеродных тканей и б) гуморальный (осуществляемый через жидкие среды) иммунный ответ, эффективный против бактерий и вирусов. Действие обоих видов защиты частично перекрывается. Указанные два способа защиты обеспечиваются в первую очередь двумя классами клеток, называемых лимфоцитами: Т-лимфоцитов, обеспечивающих клеточный иммунный ответ, и В — лимфоцитов, обеспечивающих гуморальный иммунный ответ. Важную роль играют также макрофаги — клетки очень большого размера, способные к активному захвату и перевариванию бактерий, остатков погибших клеток и других чужеродных частиц. Участвует в иммунном ответе и ряд других клеток, но их роль и характер действий здесь не рассматривается.

Схемы клеточного и гуморального ответов могут быть наглядно пояснены с помощью рис. 5.1 [122], на котором отображены процессы дифференциации, взаимодействия и элиминации, происходящие после стимуляции чужеродным антигеном Т- и В-клеток иммунной системы.

Обратим внимание на некоторые особенности клеточного и гуморального иммунных ответов, отражаемых этой схемой. Во-первых, видно, что антитела (изображенные в схеме в виде буквы Y), вырабатываемые В-лимфоцитами при гуморальном иммунном ответе, в дальнейшем от них отделяются, а антитела, вырабатываемые Т-лимфоцитами при клеточном иммунном ответе, связи с выработавшей их клеткой не теряют. Значение этого будет ясно из дальнейшего. Во-вторых, видно, что антитела начинают вырабатываться лимфоцитами только после появления в организме чужеродных антигенов. Следовательно, для начала выработки ан-

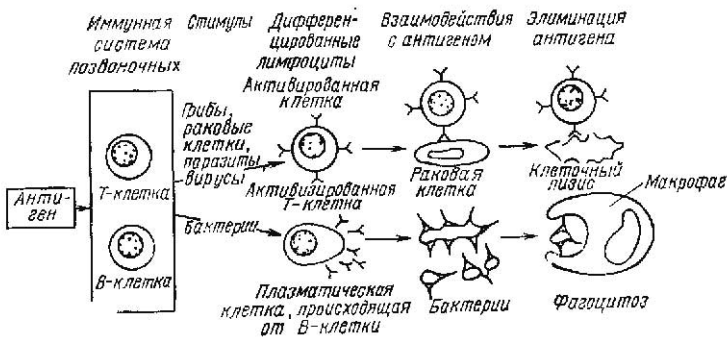


Рис. 5.1. Схематическое отображение процессов дифференциации, взаимодействия и элиминации, происходящих после стимуляции чужеродным антигеном Т- и В-клеток иммунной системы [122]

тител необходимо, чтобы эти антитела оказали некоторое действие на лимфоциты.

Действие чужеродного антигена на лимфоциты осуществляется в ходе переноса на их мембрану некоторого количества иммунного материала чужеродного антигена, переваренного макрофагом. Последний процесс носит название презентации.

В отличие от лимфоцитов действие макрофага направлено не на какой-либо определенный антиген. Он может захватить и переварить любой чужеродный антиген, и выполняет эту функцию без участия других клеток иммунной системы. Явление называется фагоцитозом.

В то же время действия ни одной из клеток иммунной системы не направлены против собственных антигенов; сам с собой организм не борется. Это явление получило название толерантности.

Из сказанного следует, что клетки иммунной системы должны обладать системой распознавания «своего» и «чужого». Эту функцию выполняют молекулы так называемого главного комплекса гистосовместимости (от греч. histos — ткань) — МНС, обладающие стабильностью наследственных (генетических) свойств индивидуума и в то же время исключительным полиморфизмом (вариабельностью) для разных особей данного вида. При презентации клетки МНС располагаются на плазматической мембране лимфоцита (внешней мембране этой клетки) рядом с чужеродным антигеном или его частью и ассоциируются с ним [123].

Выше кратко (в той мере, в которой они будут использованы в § 5.1) изложены сведения о принятой в иммунологии терминологии и классификации механизмов. Биологическое значение этих механизмов понятно. Но физиков в первую очередь интересуют другие стороны вопроса: природа сил, связанных с этими механизмами; их взаимосвязь, их энергетическое обеспечение и т. п.

Знание физической стороны вопросов может в ряде случаев облегчить переход от описательного восприятия к обсуждению возможностей активного воздействия на процессы.

5.1.3. ЧЕМ ОБЪЯСНЯЕТСЯ ОГРОМНОЕ ЧИСЛО ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ОРГАНИЗМЕ РАЗЛИЧНЫХ АНТИТЕЛ?

В организме производится миллиарды различных антител, защищающих его от любых чужеродных антигенов. Как организм может справиться с выработкой такого разнообразия антител, причем в очень больших количествах, достаточных для борьбы с инвазией любого чужеродного антигена? Работа Сусумы Тонэгава (получившая в октябре 1987 г. Нобелевскую премию) объясняет это так называемой соматической рекомбинацией — объединением некоторого количества генов из общего относительно небольшого (порядка 100 тысяч) числа. Общее количество возможных комбинаций при этом огромно и достаточно для синтеза указанного разнообразия антител.

Но что определяет сочетание объединяемых генов? Является ли это случайным процессом, в результате которого некоторые из возникающих сочетаний отвечают синтезу антител против угрожающего организму антигена, или это закономерный процесс? То обстоятельство, что иммунный ответ начинается только после встречи клеток иммунной системы с антигеном, на наш взгляд, говорит в пользу последнего ответа на поставленный вопрос. Но тогда закономерный процесс, регулирующий появление антител против определенного антигена после его появления в организме, должен иметь свой биофизический механизм.

Вначале не будем определять биофизический механизм действия антигена, а обратим внимание на другую особенность процесса. В гл. 2 отмечалось, что количество собственных резонансных частот клетки может быть очень большим. В значительной мере число собственных частот определяется размером клетки — чем больше клетка, тем больше собственных частот. Большое число собственных частот обеспечивает возможность генерации на их основе огромного разнообразия спектров, способного приблизиться к любому спектру в достаточно широкой области. А это означает, что при определенных условиях (см. подпараграф 5.1.4) возможна почти точная синхронизация генерируемых клеткой колебаний с колебаниями внешнего источника излучения (например, чужеродной клетки¹). А между клетками, колебания в которых синхронизированы (разности частот малы и не исключают эффективного взаимодействия), в изотоническом растворе (растворе, диэлектрическая постоянная которого ϵ_2 совпадает со

¹ Заметим, что если речь идет не о живой клетке, а о макромолекуле, выступающей в качестве антигена, положение практически не изменяется. Только речь в этом случае идет не о собственных, а о наведенных в резонансной системе антигена колебаниях.

средней диэлектрической постоянной клеток ϵ_1) возникает взаимопритяжение (см. § 4.1). При этом с учетом распределения областей излучения разных частот по поверхности клетки и их связи с особенностями поверхности мембраны речь может идти о таком взаимопритяжении, при котором происходит совершенно определенная ориентация клеток друг относительно друга, обеспечивающая возможность их прочного сцепления. Такое сцепление чужеродного антигена с лимфоцитом хорошо знакомо иммунологам [121, 122]. Как известно из электродинамики реактивные структуры, связанные с резонатором генератора, могут обеспечить смещение частот генерируемых колебаний и их дальнейшее сближение. В данном случае эту роль могут, по-видимому, вначале играть подструктуры, но на их построение нужно время. Этому в полной мере отвечает описываемый иммунологами процесс перехода от грубого соответствия свойств антитела и антигена к тонкой его доводке. Анализ, проведенный в гл. 3, говорит также о том, что в ходе доводки должна изменяться и форма мембраны, подвергающейся бомбардировке белковыми молекулами, перемещающимися в нужном направлении под воздействием полей акустоэлектрических и электромагнитных волн, генерация которых становится возможной после формирования подструктур. При этом перемещение белковых молекул происходит под воздействием полей волн, возбуждающихся в мембранах обеих клеток, так как малая толщина мембран не препятствует полю акустоэлектрических волн на выступающих участках мембраны проникать в пространство соприкасающейся с ней другой клетки.

Схемы борьбы антител (после доводки их формы) с антигенами разработаны иммунологами достаточно подробно. К этому можно добавить, что резонансные свойства Т-лимфоцитов в совокупности с порожденными ими антителами, соответствующие резонансным свойствам чужеродных антигенов, обеспечивают в клеточном иммунном ответе взаимопритяжение антигена и антитела (ассоциированного с лимфоцитом). По-видимому, притяжение при этом обеспечивается волнами, генерируемыми Т-лимфоцитом. Гуморальный иммунный ответ связан со взаимодействием отделившихся от В-лимфоцита антител (пассивных элементов) с живыми бактериями (антигены). Соответствие резонансных свойств антигена и антитела реализуется при их взаимопритяжении, обеспечиваемом излучением волн, генерируемых бактериями [44, 132], хотя энергия, излучаемая бактерией, по-видимому, много меньше энергии, излучаемой лимфоцитом. Вероятно, что различие в источнике энергии, обеспечивающей взаимопритяжение, является определяющим для клеточного и гуморального иммунных ответов. Оно позволяет организму не затрачивать излишней энергии, если чужеродный антиген сам излучает волны.

С изложенных позиций можно объяснить неоднократно проверявшийся иммунологами и всегда подтверждавшийся принцип: одна клетка производит антитела только одного вида. Его объяснение вызывало серьезные затруднения. С изложенной же точки

зрения этот вывод не только естественен, но и единственно возможен. Поскольку подструктуры, сформированные под влиянием определенного антигена, обеспечивают генерацию лимфоцитами спектра, соответствующего спектру антигена, то и резонансные частоты антител, порождаемых этими лимфоцитами, не могут не соответствовать резонансным свойствам антигена.

5.1.4. ЧТО ПОЗВОЛЯЕТ КЛЕТКАМ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА ВОСПРИНИМАТЬ ЧАСТОТНЫЙ СПЕКТР АНТИГЕНА?

В предыдущем подпараграфе анализ начался с того момента, когда клетки иммунной системы организма восприняли спектр антигена. О возможности восприятия было сказано только то, что большие размеры соответствующих клеток, обеспечивающие наличие очень большого числа резонансных частот в их спектре, создают предпосылки для такого восприятия. Но среди сообщенных в § 2.2 сведений о генерации клетками когерентных колебаний говорилось и о том, что это процесс системный, обеспечиваемый не только мембранами, но и белками, имеющими соответствующие спектру мембран резонансные частоты. С физической точки зрения чужеродные белки отличаются от белков, вырабатываемых данным организмом, прежде всего спектром своих резонансных частот. Могут ли лимфоциты начать производить чужеродные белки? Для их сборки нужны соответствующие матрицы — информационные РНК (И-РНК), поступающие от ДНК. А ДНК для разных организмов различен. Следовательно, сами по себе иммунные клетки не могут генерировать колебания со спектром, достаточно близким к спектру МНС антигена, для обеспечения эффективного их (антигена и антитела) взаимодействия. Чтобы ситуация изменилась, клеткам иммунной системы (лимфоцитам) должны, по-видимому, быть переданы (пренезнетированы) белковые молекулы (иммунный материал) антигена. При богатом спектре собственных резонансных частот клеток иммунной системы этого (в подавляющем большинстве случаев) должно уже быть достаточно для того, чтобы возбудить в них колебания со спектром частот, близким к спектру МНС антигена и обеспечивающим начало продуцирования антител и взаимодействия антител с антигеном. В соответствии с обсуждением, проведенным в предыдущем подпараграфе и в гл. 2, вслед за этим могут начаться процессы построения соответствующих подструктур и соматической рекомбинации, содействующие дальнейшему сближению («доводке») спектров. Процесс, как и в случае адаптивного роста, может продолжаться в следующих друг за другом генерациях клеток и сопровождаться выработкой недостававших ранее видов белковых молекул (см. гл. 3). Дополнительного ввода иммунного материала антигена не требуется, так как переданный клетке иммунный материал чужеродного антигена вызвал в ней генную перестройку, соответствующую производству необходимых белковых молекул. Иными словами, после презентации иммунно-

го материала и изменения спектра генерируемых клеткой колебаний происходят перестройки ДНК, появляются матрицы, регулирующие сборку белков, соответствующих чужеродному антигену. А это определяет генерацию необходимых антител.

Как и где передаются необходимые белковые молекулы от антигена к лимфоцитам?

Эта передача осуществляется в лимфатической системе, в органах которой, расположенных на пути проникновения антигенов в организм, скапливаются все антигены. Здесь они перерабатываются с помощью макрофагов. Опорой для макрофагов служит расположенный в лимфатических узлах ретикулум (каркас из волокнистой ткани). Здесь же имеются проходы для лимфоцитов, через которые они попадают в венозную систему, из нее через сердце и артериальную систему вновь в лимфатическую, где они могут контактировать с переработанными антигенами, и т. д. В макрофагах, поглотивших антигены, последние расщепляются ферментами. Однако на клеточной поверхности макрофага сохраняется некоторое количество иммунного материала чужеродного антигена, который презентуется (передается) лимфоцитами и вызывает их активацию [121, 122]. Процесс активации связан, как и процессы адаптивного роста, с возбуждением в клетке генерации акустоэлектрических и электромагнитных колебаний, когда произошедшие в ней изменения приводят к нарушению нормального функционирования. Если адаптивный рост представляет собой восстановление нарушенных тканей, активация вызывает или ускоряет пролиферацию (размножение) клеток; генерируемые при этом колебания управляют процессами восстановления (см. гл. 3).

Специфика рассматриваемого случая иммунного ответа определяется в основном тем, что изменения характера функционирования и вызываемые этими измерениями пролиферация и генерация акустоэлектрических и электромагнитных колебаний связаны с презентацией клетке иммунного материала чужеродного антигена и, как было описано выше, следующей за ней перестройкой клетки. Процессы адаптивного роста, судя по данным исследований, управляются собственными частотами клеток, общими для особей данного вида, иммунный ответ — индивидуальной частью спектра собственных частот этих особей.

Таким образом, с рассматриваемой точки зрения именно переданный лимфоцитам иммунный материал — специфичные для чужеродного антигена белки — является недостающим звеном для возбуждения процесса, обеспечивающего генерацию лимфоцитами колебаний со спектром, близким к спектру МНС антигена, и запуск иммунного ответа.

Как отмечалось в подпараграфе 5.2.2, чужеродный антиген ассоциируется на плазматической мембране лимфоцита с молекулами его МНС. Это говорит о том, что спектр собственных частот лимфоцита (спектр частот его МНС) дополняется частотами, соответствующими МНС чужеродного антигена, а не подменяется

ими. И это очень важно, так как лимфоциты должны взаимодействовать не только с чужеродными антигенами, но и с другими клетками иммунной системы, участвующими в иммунном ответе.

5.1.5. ЧЕМ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫЙ РОСТ ОБРАЗОВАНИЯ АНТИТЕЛ НА РАННИХ СТАДИЯХ ИММУННОГО ОТВЕТА И ПРЕКРАЩЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПОСЛЕ ИСЧЕЗНОВЕНИЯ АНТИГЕНА?

В предыдущем параграфе было описано начало иммунного ответа — появление первых клеток, продуцирующих антитела, специфичные для данного антигена. За ним следует экспоненциальный рост числа продуцируемых антител этого вида. С излагаемых в настоящей работе позиций такой ход событий естественен. Поскольку подструктуры передаются последующим поколениям, рост числа клеток (имеющих нужный для борьбы с данным антигеном спектр), происходящий на начальном этапе по экспоненциальному закону, должен привести к экспоненциальному росту количества продуцируемых антител данного вида. Подструктуры не исчезают мгновенно после того, как в них отпала необходимость: их расформирование связано с броуновским движением и на реализацию этого процесса требуется время. Постепенно все большее число лимфоцитов возвращается к исходному состоянию, существовавшему до презентации им чужеродного антигена и начала продуцирования ими белков, соответствующих спектру частот МНС этого антигена. Вероятно, для лимфоцитов данного организма исходное состояние является наиболее устойчивым. В то же время при отсутствии в организме чужеродного антигена презентации его иммунного материала новым клеткам не происходит. В результате количество антител, соответствующих данному антигену, все более сокращается.

Наконец, уместно обсудить, почему вторичный ответ на антиген (ответ на повторное поступление антигена в организм) оказывается более быстрым и эффективным, чем первичный. С излагаемой точки зрения это связано с тем, что подструктуры после первого ответа могут не расформироваться полностью, особенно если сохраняются некоторые пластические деформации мембран. А как показывает эксперимент [83, 117], достройка подструктуры может требовать много меньше времени, чем ее формирование с нулевого уровня.

Полпутье отметим, что описываемый круг представлений, соответствующий данным экспериментальных работ (см. § 2.1), делает понятным, почему ранее перенесенные болезни могут как облегчать, так и затруднять борьбу организма с новым заболеванием. Если подструктуры родственны и дело идет лишь об их достройке — борьба облегчается. Такой ход процесса имеет место, например, в уже упоминавшемся в гл. 2 случае, когда прививкой оспы крупного рогатого скота можно ослабить действие вирусов черной оспы. Если же подструктуры неродственны — борьба

организма осложняется и становится более длительной, так как вновь строящаяся подструктура должна стать доминирующей (более выраженной, чем первая), на что требуется больше времени, чем на создание первичной структуры [117].

5.1.6. ЧЕМ ОБЪЯСНЯЕТСЯ СПОСОБНОСТЬ МАКРОФАГОВ ПОГЛОЩАТЬ И ПЕРЕВАРИВАТЬ ЛЮБЫЕ АНТИГЕНЫ, КРОМЕ СОБСТВЕННЫХ?

Ответ на этот вопрос с позиции излагаемой концепции требует анализа сил, возникающих между макрофагом и антигенами. Эти силы можно разделить на силы взаимодействия между активными (генерирующими) диполями макрофага и антигена (или возбужденными на своих резонансных частотах пассивными диполями¹) и силы взаимодействия между активными диполями и диполями, наведенными ими в диэлектрических частицах (клетках, макромолекулах), не резонирующих на частотах колебаний, излучаемых активными диполями. Диэлектрическую проницаемость частиц обозначим ϵ_1 , а диэлектрическую проницаемость среды, в которой они находятся, ϵ_2 .

Результирующая сила F является суммой трех составляющих. Первая из них F_1 определяется взаимодействием излучения макрофага с дипольными моментами, наводимыми им в антигене, как диэлектрической частице, средняя диэлектрическая проницаемость которой ϵ_1 . Если антиген находится в среде с диэлектрической проницаемостью ϵ_2 , то F_1 пропорциональна разности $(\epsilon_1 - \epsilon_2)^*$, объему антигена, интенсивности излучения макрофага; с увеличением расстояния между антигеном и макрофагом эта сила быстро уменьшается [128]. Пока антиген находится в изотонической среде ($\epsilon_1 \approx \epsilon_2$) на расстоянии от макрофага, заметно больше $10 \text{ \AA}$, $F_1 = 0$. Но при попадании антигена или какой-либо его части в ближайшую (составляющую приблизительно 1 нм) окрестность липидного (жироподобного) слоя плазматической мембраны макрофага, куда вода не проникает, так что $\epsilon_2 \ll \epsilon_1$, сила F_1 превращается в силу взаимопритяжения между макрофагом и антигеном.

Вторая составляющая F_2 определяется взаимодействием излучения макрофагов с активными диполями антигенов или эквивалентными им по поведению диполями, наведенными излучением в резонансных структурах антигена (его МНС-комплексах — см. подпараграф 5.1.2). Объем этих структур — мембран, белковых молекул и др. — по сравнению с общим объемом антигена очень мал, так что на среднюю величину ϵ_1 и на F_1 эти структуры не влияют. Но высокая добротность этих структур (см. гл. 2) опре-

¹ Как уже отмечалось, возбужденные на своих резонансных частотах диполи ведут себя при взаимодействии аналогично активным диполям.

* Положительное значение разности соответствует силе взаимопритяжения, отрицательное — силе взаимодействия; при $\epsilon_1 = \epsilon_2$ величина $F_1 = 0$.

делает значительную величину F_2 , если спектр резонансных частот антигена совпадает со спектром излучения макрофага. Составляющая F_2 является силой взаимоп्रитяжения.

Третья составляющая F_3 определяется взаимодействием излучения антигена с дипольными моментами, наводимыми им в макрофаге как диэлектрической частице, со средней диэлектрической проницаемостью $F_{1м}$. По характеру эта сила подобна F_1 , но нужно учесть, что объем макрофага намного превышает объем антигена и определяется в основном цитоплазмой, содержащей набор разнообразных гидролитических ферментов. По-видимому, с этим связано то, что $\epsilon_{1м}$ меньше ϵ_2 (из-за наличия значительного количества связанной воды). В результате F_3 не сводится к нулю даже тогда, когда антиген находится в водной среде (изотоническом растворе), и представляет собой силу отталкивания.

Если к макрофагу приближается собственный антиген организма, спектр резонансных частот МНС которого совпадает со спектром частот, излучаемых МНС макрофага, то амплитуды возбужденных в антигене колебаний будут значительными. Поэтому значительна и сила взаимоотталкивания антигена и макрофага F_3 . Сила притяжения между ними F_2 существенно меньше, так как она действует между антигеном и относительно малым (по сравнению с общим объемом макрофага) ядром макрофага, удаленным от антигена на значительно большее расстояние, чем плазматическая мембрана макрофага. Поэтому суммарная сила является силой отталкивания и не позволяет собственному антигену войти в безводную область вблизи липидного слоя плазматической мембраны, имеющую протяженность около 10 Å.

Если же к макрофагу приблизится чужеродный антиген, то в силу различий в спектрах резонансных частот между ним и макрофагом в антигене возбуждаются колебания малой амплитуды. В случае гуморального иммунного ответа (см. рис. 4.4), когда чужеродный антиген активен (например, бактерия), снижению амплитуды содействует, по-видимому, замыкание части его линий через антитела. Поэтому, пока он находится в водной среде, где $\epsilon_1 \approx \epsilon_2$, все компоненты $F(F_1, F_2 \text{ и } F_3)$ малы и не способны воспрепятствовать действию потока лимфы при приближении антигена к макрофагу. Антигены подходят к мембране макрофага на расстояние, меньшее 10 Å от ее липидного слоя. В этой области, где $\epsilon_2 \ll \epsilon_1$, F_1 и F_3 велики и соответствуют взаимоп्रитяжению антигена и макрофага. Под действием этих сил мембрана макрофага прогибается, точнее, участок за участком подтягивается к поверхности антигена. В результате частица с участком этой мембраны втягивается в цитоплазму, образуется вакуоль — рис. 5.2; вслед за этим происходит переваривание частицы [121]. На рис. 5.2 изображены последовательные стадии образования вакуоли в процессе постепенного подтягивания плазматической мембраны макрофага к поверхности антигена, связанном со вхождением все новых участков мембраны в 10 Å-ную зону близости с поверхностью антигена

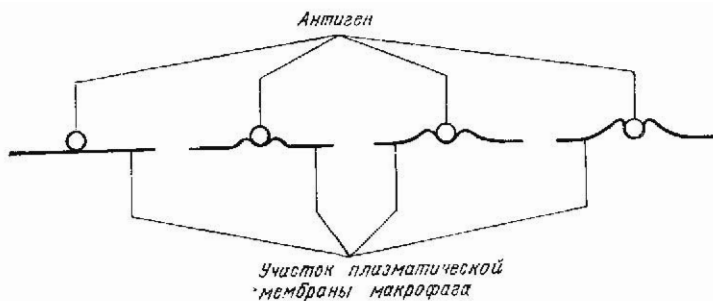


Рис. 5.2. Образование вакуоли в процессе постепенного подтягивания плазматической мембраны макрофага к поверхности антигена

(зону сильного притяжения между плазматической мембраной макрофага и антигеном).

Таким образом, для проявления фагоцитарной активности по отношению к чужеродным антигенам и отсутствия ее проявления к собственным требуется только, чтобы спектр резонансных частот МНС макрофага совпадал со спектром частот МНС собственных антигенов; каких-либо предварительных сведений о спектральных характеристиках чужеродных антигенов не требуется.

5.1.7. ЧЕМ ОБЪЯСНЯЕТСЯ ИММУНОЛОГИЧЕСКАЯ ТОЛЕРАНТНОСТЬ?

Как отмечалось в подпараграфе 5.1.2, действия клеток иммунной системы, в том числе Т- и В-лимфоцитов, не направлены против собственных антигенов (в этом смысл термина толерантность). Не действуют они и против чужеродных антигенов, вводимых в организм до или во время рождения (очевидно, эти антигены начинают играть в организме ту же роль, что и собственные, т. е. связанная с ними генетическая информация начинает отражать индивидуальные свойства данного организма. В дальнейшем речь будет идти только о собственных антигенах). Биологическое объяснение явления иммунологической толерантности (удостоенное Нобелевской премии) [124] сводится к исчезновению любого клона клеток, продуцирующих антитела к собственному антигену. С точки же зрения рассматриваемой биофизической концепции это объяснение сводится в первую очередь к тому, что, поскольку макрофаги не поглощают собственные антигены (см. подпараграф 5.2.3), они не могут презентовать их лимфоцитам. К тому же презентация иммунного материала собственного антигена ни к чему бы и не привела: спектр собственных резонансных частот лимфоцита при этом не изменился бы, а следовательно (см. подпараграф 5.2.6), не произошла бы и активация клеток, необходимая для организации иммунного ответа.

Если же в организме появляются лимфоциты, порождающие антитела против собственных антигенов, т. е. имеющие отличные

от них спектральные характеристики, то для клеток иммунной системы они уже не отличаются от чужеродных антигенов и устраняются из организма так же, как последние.

Может возникнуть вопрос: почему в организме используются две различные системы иммунного ответа? Почему нельзя было бы ограничиться одной, более универсальной системой, основанной на действии одних только макрофагов?

По-видимому, это связано со значительно большей длительностью такого ответа и несравненно большими затратами организма на генерацию огромного числа клеток очень большого размера и энергопотребления. Ответ с помощью специализированных клеток — лимфоцитов, основная часть которых генерируется к тому же только в период, когда в них имеется необходимость, существенно менее обременителен. Макрофаги в соответствии с выполняемой ими функцией должны постоянно интенсивно генерировать колебания, в то время как лимфоциты здоровых людей — лишь в период активации или при внешнем их возбуждении. Требуемое количество макрофагов в последнем механизме иммунного ответа (см. подпараграф 5.2.2) существенно меньше.

Затронем также вопрос, близкий к рассматриваемому: с чем связана зависимость антигенных свойств от молекулярной массы? Исходя из принятых представлений, этому факту трудно найти объяснение:

«Почему антигенные свойства связаны с величиной молекулярной массы, до сих пор не совсем ясно. Но факт остается фактом: минимальная молекулярная масса, необходимая для проявления антигенности, должна быть не менее десятка тысяч» [121].

С точки зрения изложенной выше спектральной концепции это может быть объяснено тем, что малым размерам объекта при прочих равных условиях сопутствует (см. гл. 2) очень разреженный спектр собственных резонансных частот акустоэлектрических колебаний, малые добротности акустических резонансов и соответственно слабое взаимодействие с иммунной системой, осуществляемое на относительно небольшом числе частот при малых амплитудах колебаний.

В заключение к этому параграфу отметим, что изложенная концепция основана на явлениях, связанных с генерацией клетками когерентных колебаний. Большинство физических объяснений природы явлений достаточно наглядны и просты, что, по мнению авторов, делает рациональным их обсуждение и отработку, хотя они, безусловно, дискуссионны по своей сути.

5.2. РАЗЛИЧИЕ В ПОДХОДЕ К УСТРАНЕНИЮ ОБРАТИМЫХ И НЕОБРАТИМЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ ОРГАНИЗМА С ПОМОЩЬЮ КОГЕРЕНТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

5.2.1. СУЩЕСТВО ПРОБЛЕМЫ

Уже на ранних стадиях исследования возможности использования электромагнитных излучений миллиметрового диапазона волн в биологии и медицине была установлена невозможность устранения необратимых нарушений функционирования одним лишь прямым воздействием излучений на целостный организм [130]. В частности, это относится к далеко зашедшим онкологическим заболеваниям. Тогда же была показана возможность и некоторая эффективность для таких случаев сочетания действия КВЧ-излучения с другими факторами, разрушающими или элиминирующими опухоль: с ионизирующими излучениями, химиотерапевтическими препаратами, хирургическим удалением опухоли. При этом роль КВЧ-излучений сводится к повышению сопротивляемости организма по отношению к побочным токсическим действиям ионизирующего излучения и химиотерапевтических препаратов или к подавлению процесса метастазирования на его ранних стадиях [125, 120]. Однако сочетание действия КВЧ-излучений с указанными факторами не всегда может дать положительный эффект. Дело в том, что при далеко зашедшем онкологическом процессе для разрушения опухоли необходимы большие дозы ионизирующего излучения или химиотерапевтических препаратов. А при таких дозах побочные токсические действия могут исчерпать возможности организма к восстановлению. (Разрушающими могут быть и другие, не связанные с лечебными процедурами воздействия на организм, например мощные потоки ионизирующих излучений при авариях атомного оборудования или утечках вредных химических веществ при нарушениях цикла химико-технологических процессов.)

Что в этих условиях способно дать воздействие когерентных КВЧ-излучений? Ведь оно в принципе сводится к мобилизации собственных резервных возможностей организма [15] — ни сколько-нибудь заметных количеств энергии, ни каких-либо веществ в организм не вносится. Но когда резервные возможности исчерпаны, мобилизующее действие уже не способно дать положительный эффект; оно может даже ускорить гибель, форсируя жизнедеятельность в условиях отсутствия необходимых для этого средств и возможностей.

Следует ли из сказанного, что в последнем случае применение КВЧ-воздействий в принципе бесполезно? Как показали описанные в предшествующих главах экспериментальные и теоретические исследования, воздействия КВЧ-излучений проявляются прежде всего на клеточном уровне [44]. Клетка представляет собой самостоятельный или автономно функционирующий организм,

любая форма активности которого может быть усилена при мобилизации его резервных возможностей. А мобилизирующим фактором могут явиться действия КВЧ-излучения. Внесение в организм тех или иных тканей, как собственных, так и взятых от доноров, известно и используется давно. Активация вносимых в организм тканей может сыграть важную роль, кардинально изменяя скорость протекания и эффективность возбуждаемых процессов. При этом следует отметить, что процесс активации может быть произведен вне организма реципиента (т. е. до ввода тканей в его организм). Поэтому терапевтическое воздействие КВЧ-излучений не обязательно должно реализоваться через облучение целостного организма больного, когда неизбежной была бы активация его собственных тканей, нежелательная, как уже отмечалось, в условиях истощения их резервных возможностей. Воздействие КВЧ-излучений на отдельные ткани, в том числе в составе целостного организма донора, а не целостного организма больного, снимает или резко ослабляет ограничения, связанные с исходным состоянием последнего. Это позволяет рассчитывать на возможность устранения необходимых нарушений организма.

Данный подпараграф посвящен краткому анализу биофизических аспектов указанных вопросов.

5.2.2. ПРИНЦИПИАЛЬНО РАЗЛИЧНЫЕ ПУТИ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КВЧ-ВОЗДЕЙСТВИЙ: ОЦЕНКА ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Возможны, по-видимому, четыре принципиально различных пути терапевтических КВЧ-воздействий:

1. Воздействие на частотах КВЧ-диапазона, соответствующих характеру функционального нарушения, с тем, чтобы воздействие стимулировало процессы адаптивного роста (восстановительные или приспособительные процессы).

Этот путь будет становиться все более и более эффективным по мере создания и усовершенствования диагностической КВЧ-аппаратуры. Однако он оказывается очень полезным и при использовании классических методов диагностики; при этом используемые частоты воздействия подбираются в соответствии с диагнозом без учета влияния сопутствующих нарушений. Поскольку, судя по данным экспериментальных исследований и теоретического анализа (см. гл. 2), спектр частот активации клеток для фиксированных процессов адаптивного роста у всех особей данного вида совпадает, этот путь проще любых других может быть обеспечен терапевтической КВЧ-аппаратурой.

2. Воздействие на частотах, отражающих специфику конкретного антигена.

Собственные резонансные частоты, определяющие гистосовместимость, индивидуальны. Поэтому, в отличие от процессов адаптивного роста, частоты, эффективно воздействующие на специфические иммунные заболевания, по-видимому, также в значитель-

ной части индивидуальны, и подбор этих частот для КВЧ-воздействий возможен только при наличии достаточно эффективно работающей диагностической КВЧ-аппаратуры.

Злокачественные клетки воспринимаются иммунной системой как чужеродный антиген. Это говорит о том, что озлокачествление клеток связано с изменением спектра индивидуальных частот. С этой точки зрения онкологические заболевания родственны указанным выше. Судя по появившимся в литературе [127] описаниям наблюдаемой в некоторых случаях нормализации опухолевых клеток, в принципе возможен и подбор частот КВЧ-воздействий, точно соответствующих онкологическому заболеванию. Об этом говорят и работы чл.-корр. АН СССР Б. В. Дерягина и М. В. Голованова [105], позволившие установить наличие очень интенсивного излучения злокачественных клеток и одинаковости спектра излучения различных злокачественных клеток одного и того же больного [128]. Но, естественно, такой подбор станет доступным лишь после создания совершенной диагностической аппаратуры. К реализации этого пути медицина пока не подготовлена.

3. Воздействия на частотах, активирующих клетки иммунной системы, но не специфичных для конкретного антигена.

Здоровая, активная иммунная система способна обеспечить устранение появляющихся злокачественных клеток, пока их количество не слишком велико. Недостаточная же активность иммунной системы ведет к различным предраковым состояниям. Поэтому активация клеток иммунной системы с помощью КВЧ-воздействий, производимая на некоторых общих для вида, а не индивидуальных частотах, позволяет нередко устранять нарушения, если они не зашли слишком далеко (см., например, [120, 129]). Это принципиально важный путь использования КВЧ-воздействий. К сожалению, однако, нередко случаи, когда нарушения выявляются слишком поздно, и устранить их воздействием на целостный организм уже не представляется возможным.

4. КВЧ-воздействия в сочетании с факторами, разрушающими необратимо измененные ткани, и со вводом в организм активированных с помощью КВЧ здоровых тканей.

При таких комплексных воздействиях важна правильная оценка их результатов. На начальном этапе применения КВЧ для оценки эффективности действия этих излучений использовались те же косвенные критерии, что и для оценки других факторов, качественно отличных по характеру действия. Например, в онкологии почти единственным критерием являлось изменение числа лейкоцитов. Но правильность такого подхода для новых факторов воздействия сомнительна и практикой зачастую не подтверждается [130]. Живые организмы настолько сложны, что, как уже отмечалось в гл. 2, определенного эффекта можно добиваться, воздействуя на различные системы. Изменения, вызванные определенным воздействием, многочисленны, изучить все их практически невозможно. Поэтому, вероятно, единственно надежными критериями положи-

тельности воздействия являются выздоровление, отсутствие рецидивов и побочных вредных влияний — прямые критерии.

Останавливаться в настоящей работе более подробно на первых двух из указанных в настоящем разделе путей смысла не имеет: первый путь широко используется, использование второго не подготовлено. Поэтому остановимся более подробно только на третьем и четвертом.

5.2.3. ОБЩАЯ НЕСПЕЦИФИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ КЛЕТОК ИММУННОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ КВЧ-ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ СОСТОЯНИЯХ ПОВЫШЕННОГО РИСКА И ПРИ ОПАСНОСТИ МЕТАСТАЗИРОВАНИЯ

В этом направлении к настоящему времени получены уже достаточно серьезные экспериментальные данные. Прежде всего, они относятся к так называемым состояниям повышенного риска, как их иначе называют, — предраковым состояниям. Упомянем некоторые из этих работ.

К 1986—1987 гг. в Одесском медицинском институте под руководством В. Н. Запорожана успешно проведена экспериментальная работа по активации иммунной системы при гиперплазии эндометрия с помощью КВЧ-воздействий [129]. Была установлена высокая эффективность действия КВЧ-излучения (волна 7,1 мм, 10 сеансов). В ходе работы были достаточно подробно изучены факторы, характеризующие активацию иммунной системы (любых форм иммунитета — как клеточного и гуморального, так и фагоцитоза).

Выше уже упоминалась работа [120], проведенная в МНИОИ им. П. А. Герцена под руководством С. Д. Плетнева, по успешному предотвращению метастазирования после хирургического удаления меланомы и по устранению метастазов этой опухоли на ранних стадиях их образования. Эффект достигался применением КВЧ-воздействий на волне 7,1 мм (несколько курсов по 10 воздействий). Характер описываемых явлений, по-видимому, однозначно говорит о том, что полученные результаты явились следствием активации под влиянием КВЧ-воздействий клеток иммунной системы, способных, как известно, эффективно бороться со злокачественными клетками, пока они относительно немногочисленны.

Естественно, возникает вопрос: каким образом КВЧ-воздействия на некоторых из частот, общих для всех особей данного вида, а не специфичных для конкретного антигена, могут активировать клетки иммунной системы и почему такая активация содействует элиминации злокачественных клеток?

Прежде всего следует отметить, что в соответствии с [72] изменение активности клеток иммунной системы происходит при любых восстановительных процессах в организме, независимо от того, какой орган поврежден, обладает ли этот орган высокой или слабой восстановительной способностью и т. п. При этом повреждение всегда или почти всегда сопровождается изменением способности лимфоидных клеток к антителообразованию.

В связи с этим можно высказать предположение, что такая общность в характере реакции иммунной системы связана с тем, что любая поврежденная клетка организма с нарушенной генетической информацией воспринимается его иммунной системой как чужеродный антиген. В то же время эффективный иммунный ответ по отношению к различным, но близким антигенам может быть одинаковым. Например, выше уже неоднократно отмечалось, что прививка оспы крупного рогатого скота предотвращает заболевание черной оспой (см. 2.1).

Генетические изменения в клетках одного организма, в том числе и на ранних стадиях их озлокачествления, могут быть относительно небольшими. Поэтому активация клеток иммунной системы по отношению к одним повреждениям может оказаться действительной и по отношению к другим (антигены в данном случае близки друг другу). При этом активация клеток колебаниями на некоторых из общих для вида резонансных частотах способна в таких случаях в достаточной степени имитировать активацию, направленную на конкретный антиген.

С рассматриваемой точки зрения описываемые процессы следует отнести к процессам устранения произошедших в организме обратимых изменений (устранение с помощью иммунной системы генетически измененных клеток делает возможным возврат в исходное состояние). Воздействуя КВЧ-излучением на целостный организм больного, этот процесс можно усилить и ускорить, если не упущен момент перехода обратимых изменений в необратимые, характеризующиеся далеко зашедшими генетическими изменениями.

5.2.4. СОЧЕТАНИЕ ФАКТОРОВ, РАЗРУШАЮЩИХ НЕОБРАТИМО ИЗМЕНЕННЫЕ ТКАНИ СО ВВОДОМ В ОРГАНИЗМ АКТИВИРОВАННЫХ С ПОМОЩЬЮ КВЧ-ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗДОРОВЫХ ТКАНЕЙ

Само название «необратимые изменения» говорит о том, что с соответствующими изменениями тканей организм справиться, как правило, не может, — процессы их образования приняли необратимый характер. Поэтому в настоящее время лечебный процесс основан на разрушении или удалении тканей, претерпевших необратимые изменения. КВЧ-воздействия пока используются лишь для поддержания организма в борьбе с побочными токсическими действиями разрушающих факторов. Но в той мере, в которой далеко зашедшие изменения требуют больших доз фактора, разрушающего большую ткань, побочные его токсические действия истощают резервные возможности организма, которые могли бы быть мобилизованы для борьбы. Поэтому эффективность КВЧ-воздействий на целостный организм больного падает.

Однако, как уже отмечалось, положение может качественно измениться, если использовать КВЧ-воздействия не на целостный организм больного, а для активации вводимых в организм тканей.

Таблица 5.1.

Средняя продолжительность жизни мышей (в сутках) после γ -облучения дозой 10 Гр

Фактор, воздействовавший на реципиента	Контроль	Эксперимент		
	γ -облучение 10 Гр	γ -облучение (10 Гр) + трансплантация костного мозга		
Фактор, воздействующий на донора перед трансплантацией костного мозга	—	—	КВЧ-воздействие 1	КВЧ-воздействие 2
Срок трансплантации костного мозга после КВЧ-воздействия на донора (сутки)	—	—	1	2
Средняя продолжительность жизни реципиента после γ -облучения (сутки)	8	20	281	296

Последние призваны подменить ткани, разрушенные побочным токсическим действием лечебных факторов (разрушающих необратимо изменившуюся ткань в организме больного).

Пока этот путь проверен только в экспериментах [73, 115] по выявлению возможности использования для разрушения необратимо изменившихся тканей в организме больного очень больших (вплоть до летальных) доз γ -излучения. Опыт, описанный в [115], проводился на мышах линии (СВА.С57 BL). Использовалось γ -облучение в летальной дозе 10 Гр. Поскольку γ -облучение разрушает костно-мозговое кроветворение, то для восстановления организма после облучения был использован костный мозг сингенных мышей, предварительно активированный в организме доноров воздействием излучения на волне 7,1 мм. Введение костного мозга без предварительной активации КВЧ давало очень небольшой эффект. Предварительная же активация с помощью КВЧ-воздействий позволила добиться практически полного восстановления организма. Поскольку ход и результаты экспериментов описаны в [73, 115] достаточно подробно, можно здесь ограничиться приведением табл. 5.1, данные которой говорят сами за себя. Конечно, путь от описанного эксперимента к медицинскому использованию требует проведения серьезных дополнительных исследований. Но направленность таких исследований достаточно ясна, и можно надеяться на их успешное завершение.

5.3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КАК ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО, ПОЗВОЛИВШЕЕ ПРОЛОЖИТЬ ПРЯМОЙ ПУТЬ ОТ ДИАГНОСТИКИ К ТЕРАПИИ

Весь предшествующий анализ был посвящен разным сторонам действия ЭМИ на живые организмы и генерации клетками когерентных колебаний в этом диапазоне частот.

Было показано, что генерируемые клетками когерентные колебания используются организмом для организации процессов адаптивного роста, а ЭМИ, имитирующие эти колебания, оказываются

полезными, если организм в силу разных причин не может их эффективно генерировать: когерентные волны от технических источников излучения на время подменяют собственные излучения клеток. Эти представления легли в основу применения обсуждаемых волн в терапии.

Однако, как установить, какими должны быть частоты или спектры используемых в каждом конкретном случае ЭМИ?

Как уже отмечалось, до настоящего времени для ответа на поставленный вопрос использовали данные обычной диагностики и экспериментально подбирали частоты (или области частот), обеспечивающие для данного заболевания в большинстве случаев удовлетворительный лечебный эффект. Но такой путь не устраняет и не облегчает решения проблем существующих методов диагностики, и, что самое главное, он не адекватен возможностям такого лечебного средства, как использование ЭМИ.

Дело в том, что каждое заболевание, каждое отклонение от нормального функционирования у конкретного индивидуума имеет свои особенности, поскольку у реального организма отклонений может быть много, причем самых разных; на одно и то же проявление заболевания можно воздействовать различными средствами, так как оно может быть следствием отклонений в функционировании различных систем организма или их совокупности (см., например, [116]). Наконец, не однозначен переход от установленного диагноза к выбору оптимального метода лечения — он определяется искусством врача. Выбранный в соответствии с диагнозом основного заболевания метод лечения может неблагоприятно сказаться на других нарушениях. А вот собственная реакция здорового организма на происходящие отклонения в функционировании обычно адекватна всей совокупности нарушений, что навело на мысль использовать для диагностики генерируемые в самом организме управляющие сигналы [60].

Знание спектров генерируемых организмом сигналов должно упростить установление спектра ЭМИ, оптимального для устранения нарушения. Прежде всего этот путь устранил бы основную трудность диагностики сегодняшнего дня — невозможность выявления всех произошедших в организме нарушений и их совокупной оценки при выборе метода лечения. Оснащение новой все более совершенной аппаратурой этой задачи не решает: как уже отмечалось выше, мозг, включающий 10^9 клеток, не может служить инструментом для создания модели системы, включающей 10^{15} клеток. Вряд ли это окажется возможным и для ЭВМ, по крайней мере в ближайшем будущем.

Нам представляется, что определение собственных спектров излучения клеток (КВЧ-диагностика) могло бы качественно изменить положение дел. КВЧ-диагностика и КВЧ-терапия родственны. Поэтому снятый спектр излучения мог бы быть использован в терапии непосредственно. Конечно, реально даже отработка аппаратуры и методов, необходимых для фиксации спектров соб-

ственных излучений клеток, всей проблемы не решит и потребует проведения значительных исследований. Но пока решение вопроса находится еще на очень ранней стадии.

Высказать мысль оказалось делом значительно более простым, чем найти пути для ее реализации. Сущность встретившихся трудностей связана с очень малой интенсивностью генерируемых организмом когерентных сигналов и, главное, принципиальной невозможностью эффективного их приема используемыми в технике приемниками излучения (см. гл. 4). Специфические методы измерения находятся еще в стадии разработки и изучения. На сегодняшний день это — еще в значительной мере перспектива. Но упомянуть о ней целесообразно, чтобы у читателей не создавалось впечатление, что в монографии речь идет лишь об объяснении встретившихся необычных явлений, а не о новом направлении с большим будущим.

ГЛАВА 6

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

6.1. О МЕТОДАХ ИЗУЧЕНИЯ ОСТРОРЕЗОНАНСНОГО ОТВЕТА ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ НА КВЧ-ВОЗДЕЙСТВИЯ¹

Острорезонансный (порядка $10^{-3} \dots 10^{-4}$ средней частоты) характер ответа живых организмов на КВЧ-воздействия был выявлен уже на ранних этапах его изучения [26] и в дальнейшем многократно фиксировался отечественными и зарубежными учеными в течение многих лет (см., например, [14, 16, 17, 168, 169, 50]). Была установлена определяющая роль данного явления в поддержании гомеостаза [139, 156]. Именно поэтому, учитывая важность рассматриваемой закономерности, не следует, по-видимому, закрывать глаза на то, что как ее выявление применительно к новым биологическим процессам, так и воспроизведение ранее полученных результатов многих исследователей затрудняют. Например, в серии исследований Ганди и его сотрудников [87], проведенных с помощью прекрасной аппаратуры, экспериментаторам не удалось воспроизвести ни одного из проверявшихся ими результатов, опубликованных в литературе другими зарубежными авторами [87]. Где кроется причина неудач?

Ниже будет показано, что неудачи всегда связаны с незнанием теории явления и определяемой этим ошибочной постановкой экс-

¹ В разработке темы принимали участие Е. Н. Балибалова, Т. П. Божанова, Т. Б. Реброва.

периментов¹. Попытаемся изложить существо вопроса систематически.

6.1.1. ЧЕГО НЕЛЬЗЯ НЕ УЧИТЫВАТЬ ПРИ ПОСТАНОВКЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ВЫЯВЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНОГО ОТКЛИКА ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ НА КВЧ-ВОЗДЕЙСТВИЕ?

Как было показано в [20, 60, 139, 156, 165], эффективность воздействия КВЧ-волн² низкой интенсивности на резонансных частотах на живые организмы определяется тем, что эти излучения, попадая в организм, имитируют сигналы управления, вырабатываемые клетками при нарушении их нормального функционирования и организующие процессы адаптивного роста (восстановительные и приспособительные процессы), направленные на восстановление или поддержание гомеостаза. Выработка клетками когерентных сигналов КВЧ-диапазона связана с формированием на их мембранах так называемых белковых подструктур, включающих в себя белковые молекулы, по крайней мере, одна из резонансных частот которых совпадает с резонансной частотой распространяющейся по мембране акустоэлектрической волны. Возбуждение колебаний в белковых молекулах на их резонансных частотах осуществляется за счет энергии метаболизма, которая затем передается соответствующей мембране; волны в мембранах синхронизируют колебания белковых молекул, вошедших в адгезированные с этими мембранами элементы подструктур.

Но если при отсутствии КВЧ-воздействий извне подструктуры формируются под действием акустоэлектрических и электромагнитных волн, генерируемых самими клетками в период нарушения их функционирования, а после устранения этих нарушений постепенно расформируются под влиянием тепловой диффузии, то под влиянием КВЧ-воздействий извне эти подструктуры могут организовываться на мембранах нормально функционирующих клеток и каких-либо заметных изменений в характере текущего функционирования (питания, обмена веществ и т. п.) не вызывают. Последнее обстоятельство даже создало у многих ложное представление о том, что внешние КВЧ-воздействия не оказывают какого-

¹ Нередко задаются вопросы: как следует рассматривать совокупность теоретических положений, развиваемых в ряде работ (в том числе в [20, 60, 139, 157, 165]), как теорию или как гипотезу? Дискутировать по этому вопросу, вероятно, смысла не имеет, так как указанные понятия по определению различаются лишь количеством подтверждающих их экспериментов, а необходимое их количество никем никогда не устанавливалось. Существенно лишь то, что в течение многих лет интенсивного изучения рассматриваемых явлений не было выявлено каких-либо фактов, которые нельзя было бы предсказать или объяснить на основе этих положений.

² Термин КВЧ (крайне высокие частоты) распространяется [170] на радиосигналы в диапазоне частот 30 ... 300 ГГц. В живых организмах в указанном диапазоне частот вырабатываются как электромагнитные, так и акустоэлектрические волны. Для упрощения изложения термин КВЧ будем относить к обоим типам волн.

либо влияния на нормально функционирующие клетки. Ошибочность этого представления была показана уже в первых работах Л. А. Севастьяновой [17, 168], в ходе которых было продемонстрировано, что *ответ организма на радиационное или химическое воздействие существенно различен для организмов, предварительно подвергшихся и не подвергшихся КВЧ-облучению*. Как следует из [83], КВЧ-воздействие и организация подструктур изменяют биоритм здоровых клеток.

Особенно важно подчеркнуть, что *клетки отвечают генерацией КВЧ-колебаний и организацией подструктур на мембранах на действие любых факторов, изменяющих характер их функционирования*. Спектр генерируемых колебаний и форма образующихся подструктур могут зависеть от совокупности факторов, повлиявших на жизнедеятельность клеток и силы их воздействия.

Под острорезонансным ответом живых организмов на КВЧ-воздействия понимают изменение характера их функционирования на относительно длительное время — запоминание организмом результатов КВЧ-воздействия на резонансной частоте. Поэтому повторить эксперимент с той же особью на другой частоте невозможно, любые эксперименты приходится проводить, используя ряд (иногда много) особей, и уже малые различия в их резонансных частотах (превышающие ширину резонансной полосы) приведут к тому, что острорезонансный эффект не будет выявлен.

А это значит, что, изучая резонансный ответ живых организмов на КВЧ-воздействия и стремясь обеспечить его воспроизводимость, необходимо обеспечивать высокую степень идентичности особей, входящих в изучаемые группы как при одиночном эксперименте, так и при их последовательном проведении. Трудность удовлетворения указанному требованию связана с тем, что биологические объекты сложны и их состояние определяется множеством параметров [68], в то время как реально удается проверить 1...2 параметра [39]. При отсутствии адекватных методов проверки индивидуальных свойств отбор идентичных особей невозможен. Поэтому биологические процедуры, направленные на идентификацию всех особей, используемых в эксперименте, должны были разрабатываться и проверяться с высочайшей тщательностью [16].

Сложность организмов давно уже заставила биологов-экспериментаторов развивать технику эксперимента в направлении повышения идентичности особей (использовать синхронные культуры микроорганизмов, чистые линии животных и т. п.). Но в данном случае речь идет об очень острых резонансах, и, естественно, возникает вопрос: достаточны ли уже достигнутые к настоящему времени успехи в этом направлении для уверенного воспроизведения результатов или должен быть сделан следующий шаг?

Существенно также подчеркнуть и другое обстоятельство. Острорезонансный ответ живых организмов трудно проверить по интегральным функциям здорового организма [156], на которые влияют любые воздействия (например, по изменению скорости рос-

та культуры клеток или по наличию синхронизации клеток при КВЧ-воздействии). Полосы частот отклика отдельных систем организма на внешние воздействия обычно перекрываются. В результате зависимость интегральных функций от частоты не имеет выраженного резонансного характера или биологический эффект на резонансных частотах (обычно связанный с наличием в организме небольших нарушений) незначителен. В этом смысле можно говорить об индифферентности здоровых организмов к частоте КВЧ-воздействий.

Изучение острорезонансных эффектов требует создания условий для наблюдения за изменениями определенных функций, обладающих узкими спектрами резонансных частот. Такие условия создаются при наличии четко детерминированных нарушений в организме. Поэтому необходимо исследование частотных зависимостей происходящих изменений от вызывающих их факторов.

Таким образом, воспроизведение острорезонансного ответа живых организмов на КВЧ-воздействия требует высокой культуры биологических и физических исследований. Поэтому до начала проведения таких опытов целесообразно каждый раз производить оценку имеющихся возможностей для обеспечения требуемых условий и сопоставлять ожидаемые трудности, связанные с получением результатов, с их научной и практической ценностью. В этом плане представляется полезным начать с критического обзора ранее проводившихся исследований и только после этого перейти к описанию одной из оптимальных (по мнению авторов) процедур наблюдения острорезонансного ответа организма на КВЧ-воздействие.

6.1.2. КРИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАНЕЕ ПРОВОДИВШИХСЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСТРОРЕЗОНАНСНОГО ОТВЕТА ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ НА КВЧ-ВОЗДЕЙСТВИЯ

Эксперименты, связанные с выявлением резонансных свойств белковых молекул и мембран в КВЧ-диапазоне. В основу этих чисто спектроскопических экспериментов заложена идея о том, что резонансные свойства тех или иных элементов клеток (белковых молекул, ДНК, мембран и др.) могут определить появившиеся соответствующих линий в спектре поглощения клеток, в которые входят эти элементы.

Справедливость этого предположения применительно к белковым молекулам, ДНК и РНК была продемонстрирована еще в 1969 году [145], а применительно к мембранам — много позже [50]. Такие опыты могут быть, по-видимому, воспроизведены при наличии чувствительной спектроскопической аппаратуры и знания техники биологических экспериментов с отбором идентичных клеток в культуре (таковой, на наш взгляд, является техника работы с синхронными культурами клеток).

Однако интерес к воспроизведению этих и им подобных экспериментов снижается тем обстоятельством, что они не дают ответа

на основной вопрос: соответствуют ли наблюдаемые физические резонансы (особенно, если они многочисленны) каким-либо нетривиальным биологическим явлениям (существенному изменению функций, характеризующему ответ живого организма на КВЧ-воздействия)? В этих экспериментах могут наблюдаться физические резонансы, в том числе многочисленные, так как средний размер клетки составляет около 5 мкм, а средняя длина акустоэлектрических волн в мембранах равняется 0,01 мкм.

Исчерпывающий ответ на вопрос о связи наблюдаемых физических резонансов с изменением характера функционирования (с биологическим острорезонансным ответом) могут дать лишь разносторонние исследования, поскольку количество различных функций даже для простейших клеток огромно.

Эксперименты, связанные с воздействиями КВЧ-излучений на здоровые или почти здоровые организмы. На первый взгляд, осуществление этих экспериментов проще, чем каких-либо других. Специально для экспериментов производят кроликов, мышей и крыс различных линий, сохраняют культуры микроорганизмов, характеризующиеся определенными свойствами. Именно этим обстоятельством в значительной мере определился успех уже упоминавшихся опытов Л. А. Севастьяновой [17, 168], В. Грюндлера и Ф. Кейлмана [14] и др. Однако и эти опыты наталкиваются на ряд трудностей.

Прежде всего, идентичность отбираемых для эксперимента особей опирается в основном на строгость соблюдения технологии воспроизведения, а не на их исчерпывающе полную проверку, которую, как уже отмечалось, осуществить практически невозможно. В то же время исключить возможность действия на различные особи каких-либо факторов, заметно влияющих на их состояние, чрезвычайно трудно (см., например, описание экспериментальной техники в [16]). А это заставляет использовать элементы статистического анализа результатов (например, говорить о показателях большинства проверенных в идентичных условиях особей; правда, обычно достаточно использовать в группах небольшое число особей).

«Проявление» изменений в устойчивости организмов к последующему повреждающему действию ионизирующих излучений и химических препаратов, произошедших в результате КВЧ-воздействий, связано с трудностью точной классификации характера повреждений клеток, требующей высокой квалификации исследователя. Сильно действующий на организмы случайный (не предусмотренный схемой эксперимента) фактор может привести к резкому изменению отклика. Так, в опытах Л. А. Севастьяновой, проводившихся вскоре после взрыва в Чернобыле, применение для кормления животных зерна, подвергшегося облучению, привело к качественным изменениям их реакции на КВЧ-воздействия.

Наконец, упомянем о трудности, возникшей при фиксации в опытах незначительных изменений интегральных функций, связан-

ных, вероятно, с малой электрической асимметрией клеток, не устраняемой их системой поддержания гомеостаза. Например, в опытах В. Грюндлера и Ф. Кейлмана фиксировались малые (составляющие единицы процентов) изменения интегральной функции — скорости роста культуры. Пока использовалась эта культура (в течение нескольких лет), результаты хорошо воспроизводились. Но стоило в опытах, описанных в работе [87], культуру изменить, и результаты опытов В. Грюндлера и Ф. Кейлмана не воспроизвелись.

Таким образом, в экспериментах на здоровых и почти здоровых организмах сказываются как общие методологические трудности, так и трудности, специфичные для каждого из объектов опыта.

Эксперименты, связанные с воздействием КВЧ-излучений на организмы с органическими и функциональными нарушениями. Этот случай наиболее сложен. Совершенно очевидно, что ни одна из разбиравшихся выше трудностей в этих экспериментах не устраняется, но добавляются новые, связанные с необходимостью строгого контроля идентичности воздействий, вызывающих нарушение функционирования. Пожалуй, наибольшие ошибки связаны не с указанными очевидными трудностями, а с разбираемой ниже особенностью реакции организма на КВЧ-излучение.

Дело в том, что в клетках с органическими или функциональными нарушениями после их возникновения начинаются процессы построения на мембранах белковых подструктур и генерации с их помощью КВЧ-колебаний [132, 139]. В [136] кратко описан механизм преобразования частоты падающего извне на такую систему КВЧ-сигнала в частоту, характеризующую нарушение, если разнос этих частот не слишком велик, хотя в некоторых случаях он может достигать до 10% ¹.

При невысоких интенсивностях и небольших длительностях внешнего излучения частота колебаний внешнего излучения преобразуется в реально воздействующие на клетки колебания с частотой, соответствующей характеру произошедших в клетках нарушений. Поэтому регистрируемая с помощью частотомера частота облучения клеток в этих случаях уже не соответствует частоте колебаний, реально воздействующих на клетку.

Следовательно, в этом случае ответ клетки на КВЧ-облучение не будет определяться частотой внешнего сигнала; острорезонансная реакция организма будет иметь место лишь на реально действующую на клетки частоту сигнала, а при построении зависимости реакции от частоты внешнего сигнала (что в большинстве случаев осуществляется экспериментаторами без учета описанного явления) эффект представляется слабо зависящим от частоты. Эта экспериментальная ошибка очень распространена.

¹ Более подробное описание было доложено на VII Всесоюзном семинаре «Применение КВЧ-излучения низкой интенсивности в биологии и медицине», Звенигород, 1989 г.

Подводя итог, подчеркнем основную трудность всех описанных здесь методов воспроизведения острорезонансного ответа живых организмов на КВЧ-воздействие: измерения резонансных характеристик основаны на сопоставлении реакций на КВЧ-воздействия, осуществляемые на разных частотах, а объектом воздействия на разных частотах являются различные особи, идентичность которых не может быть достоверно установлена. А следовательно, такие работы требуют филигранно отточенной техники биологического эксперимента.

На это накладываются трудности, связанные с выявлением характера ответа на воздействие с помощью факторов, нарушающих функционирование организма: такие факторы должны быть хорошо воспроизводимыми, а фиксация вызванных ими в организме изменений (иногда достаточно сложных и комплексных) должна обеспечить строгую сопоставимость полученных результатов. Иными словами, необходим высокий уровень не только биологического, но и физического, а иногда и химического эксперимента.

Конечно, все перечисленные трудности не исключают возможности наблюдения острорезонансного ответа организмов на КВЧ-воздействия, но усложняют воспроизведение и сопоставление полученных результатов, если опыты проводятся в разное время, в разных местах, «разными руками», на разном материале. Проведение контрольных экспериментов требует знания теории явления с тем, чтобы не допускать некорректности в постановке исследований и заранее устранять помехи получению достоверных результатов.

Естественно, возникает вопрос: нет ли иных, существенно более простых путей изучения обсуждаемого явления?

6.1.3. ОДИН ИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ УПРОЩЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЯ ОСТРОРЕЗОНАНСНОГО ОТВЕТА ОРГАНИЗМОВ НА КВЧ-ВОЗДЕЙСТВИЯ

Все описанные в подпараграфе 6.1.2. способы изучения острорезонансного ответа живых организмов на КВЧ-воздействия были основаны на обеспечении необходимой идентичности особей воспроизведением биологических и физических условий эксперимента. Обеспечение идентичности таких условий, когда речь идет о живых организмах с присущей им исключительной сложностью, не имеет гарантированного решения, что и вызывает трудность воспроизведения получаемых результатов.

Ниже излагается качественно иной путь, связанный с созданием условий, обеспечивающих контролируемую идентификацию используемых в эксперименте особей по измеряемым в данных экспериментах параметрам: не устранять возникающие в опытах с живыми организмами трудности, а использовать их преимущества.

Поскольку основная трудность в изучении острорезонансного ответа живых организмов на КВЧ-воздействия связана с возмож-

ной неидентичностью обследуемых особей, представляется целесообразным обойти эту трудность, используя в опытах полностью синхронизированную с помощью КВЧ культуру клеток¹ [156]. В этом случае обеспечивается возможность не только устранить исходную неидентичность, но и проконтролировать достигнутую степень идентичности всех особей по интегральному эффекту (длительности цикла деления), отражающему функционирование всех систем клеток.

Чтобы определенный фактор, изменяющий функционирование клеток и определяющий генерируемую им частоту [139], был превалирующим, нужно, чтобы его воздействие на клетки было достаточно сильным. Таким строго регулируемым и точно воспроизводимым фактором является частота облучающих клетки когерентных КВЧ-колебаний. Если облучение было достаточно длительным (длительность облучения превышает время, необходимое для обеспечения полной синхронизации всех клеток), то его влияние может значительно превысить влияние других факторов, незначительно влияющих на процессы в клетке.

Воздействие на клетку на одной частоте снимает отмеченную в подпараграфе 6.1.1 «индифферентность» организмов к частоте последующих КВЧ-воздействий и в этом смысле является нарушающим фактором, подобным другим факторам, вызывающим частотозависимые нарушения.

Позволяют ли такие эксперименты удостовериться в острорезонансном действии КВЧ-облучения на клетку? В чем в данном случае должно оно выразиться?

Поскольку КВЧ-воздействие на здоровую клетку приводит к построению в ней подструктур и генерации ею после прекращения внешнего облучения КВЧ-колебаний на частоте, равной частоте внешнего облучения, это говорит о том, что резонансные свойства системы в результате построения подструктуры стали на этой частоте выраженными больше, чем на других частотах. Об остроте резонанса можно судить по стабильности частоты генерируемых клеткой колебаний. Последняя же характеризуется, в частности, постоянством длительности цикла в ходе последовательных делений клетки [83]. В лабораторных условиях наблюдалось сохранение длительности цикла деления в течение приблизительно двух суток (существенно более длительный эксперимент в лабораторных условиях трудно организовать). Каких-либо заметных изменений длительности цикла за это время зафиксировано не было.

Остроту (добротность) резонанса можно характеризовать также тем, что воздействие на клетки сигналами, отличающимися от исходного по частоте до 20% (в течение 1/3 длительности действия исходного сигнала), на частоту генерируемых клеткой колебаний в пределах точности эксперимента не сказывается.

¹ Чтобы не усложнять излагаемый материал, здесь не будут анализироваться вопросы, возникающие в опытах с более сложными организмами.

Описанным методом (по изменениям длительности цикла деления клеток) можно зарегистрировать смещения частоты колебаний, составляющие несколько процентов средней частоты. Следовательно, отсутствие фиксируемых смещений частоты говорит о том, что ширина полос острорезонансного ответа имеет порядок 10^{-2} средней частоты или еще меньше. Преимуществами метода являются простота реализации и относительно небольшое время, требующееся для проведения эксперимента (около 8 ч, если не считать длительности подготовительных работ), недостатком — ограниченная точность.

Значительно более интересен вариант описанного эксперимента, позволяющий построить резонансную кривую. Вначале при облучении на исходной частоте культура не доводится до полной синхронизации. Затем измеряется время, необходимое для достижения полной синхронизации при воздействии на культуру излучениями той же частоты. В культуре устанавливается биоритм, соответствующий исходной частоте. После этого определяется время воздействия на ту же (облученную вначале на исходной частоте) культуру на других частотах, необходимое для достижения на этих частотах полной синхронизации, выражающейся в установлении биоритмов, соответствующих этим частотам. Время резко возрастает по сравнению со временем, необходимым для установления биоритма, соответствующего исходной частоте; зависимость времени, необходимого для полной синхронизации на частоте воздействия, от частоты этого внешнего воздействия имеет минимум на частоте исходного облучения. Острота резонанса определяется длительностью исходного облучения. Наиболее острый резонанс наблюдается в случае, если клетки были доведены до полной синхронизации уже при исходном облучении (рис. 6.1)¹. Такие острые резонансные кривые характерны для регенеративных усилителей, подведенных к порогу самовозбуждения когерентных колебаний, и, по-видимому, на клетках их можно наблюдать только в экспериментах, аналогичных описанным с точки зрения четкости контроля физических и биологических параметров.

Существенным преимуществом описанных схем экспериментов является то обстоятельство, что на каждом их этапе экспериментатор может сам, не прибегая к посторонней помощи, количественно оценить, насколько им освоена техника соответствующего

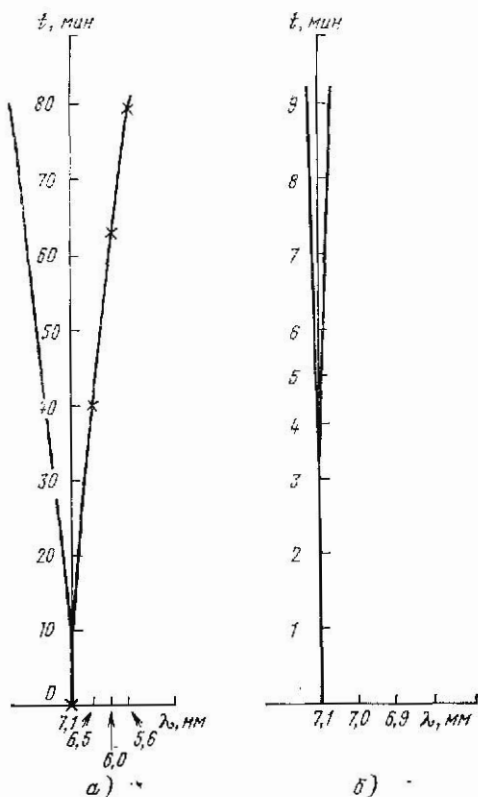
¹ Этот режим работы информационной системы особенно важен, так как, с одной стороны, достижение режима полной синхронизации говорит о том, что генерируемые клетками колебания стали когерентными; интенсивность таких колебаний, по-видимому, достаточна для реализации эффективного процесса управления. С другой стороны, в этом режиме резонансная характеристика системы становится высоко селективной, характерной для регенеративных усилителей на пороге возбуждения генерации когерентных колебаний, что обеспечивает точность работы системы, управляющей энергетическими восстановительными и приспособительными процессами в клетках. Обеспечению точности содействует дискретность резонансных частот и узость частотных полос, в которых возбуждаются колебания. У всех особей при этом совпадают как характер нарушения, так и фаза его развития.

Рис. 6.1. Зависимость длительности КВЧ-воздействия, необходимой для полной синхронизации от длины волны (исходное воздействие осуществляется на волне 7,1 мм):

а — резонансная кривая; б — центральный участок этой кривой в масштабе 10:1

этапа. Техника синхронизации до использования КВЧ-излучений может характеризоваться числом «ступенек» до перехода к экспоненциальному росту. Достижение полной синхронизации с помощью КВЧ-воздействий характеризуется отсутствием различия длительности этих ступенек. Биоритм определяется длительностью цикла деления — длиной «ступенек» и т. д.

По-видимому, приведенные опыты достаточно убедительно говорят об острорезонансном характере действия КВЧ-излучения на клетки (хотя, конечно, возможно и более точное и детальное его изучение). В то же время описанные эксперименты достаточно просты в реализации и воспроизводимы.



* * *

Все описанные эксперименты, позволившие зарегистрировать острорезонансный ответ живых организмов на КВЧ-воздействия, требуют для своего выполнения высокого уровня техники биологических экспериментов, а также использования достаточно совершенных физических метрологических устройств. Для их воспроизведения в разных местах «разными руками», на разном экспериментальном материале нужна подготовка, требующая для корректной постановки эксперимента знания теории явления.

Описанный относительно простой способ регистрации острорезонансного ответа живых организмов на КВЧ-воздействия обладает достаточно высокой точностью и воспроизводимостью. Преимуществом его является также возможность изучения формы резонансной кривой.

6.2. КЛЕТКА КАК НЕДОВОЗБУЖДЕННЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ ГЕНЕРАТОР. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВНЕШНИХ КОГЕРЕНТНЫХ И ШУМОВЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ПЕРЕХОДА К РЕЖИМУ ГЕНЕРАЦИИ

Анализ вопросов, связанных с исследованием острорезонансных эффектов взаимодействия КВЧ-излучений с живыми организмами (в первую очередь, с клетками) [159], вплотную подводит к обсуждению работы клеток как резонансных генераторов.

Действительно, в нормальном состоянии клетки когерентных сигналов не генерируют. Однако постоянное поступление энергии метаболизма приводит к генерации шумов. Спектр этих шумов мало отличается от спектра теплового излучения при данной температуре [139]. Но интенсивность шума определяется возбуждающей его энергией метаболизма. В свою очередь, интенсивность определяет исходный уровень, с которого при появлении необходимых условий может начаться генерация когерентных (или близких к ним) колебаний на любой из резонансных частот в спектральной полосе.

При нарушении нормального состояния клеток возникают условия для преимущественной генерации и излучения ими колебаний в некоторых относительно узких резонансных полосах [139]. Этот режим подобен режиму работы резонансных регенеративных усилителей. Несмотря на шумовой характер, излучения сосредотачиваются в упомянутых узких полосах в окрестности резонансных частот, и их интенсивность в этих полосах при той же возбуждающей энергии метаболизма возрастает¹. Это подводит усилитель ближе к режиму самовозбуждения когерентных колебаний, необходимых (в случае клеток) для эффективного управления восстановительными и приспособительными процессами [139, 156].

Внешний когерентный сигнал достаточной амплитуды, зависящей от близости усилителя к режиму самовозбуждения когерентных колебаний, переводит резонансные регенеративные усилители к генерации последних. Если частота внешнего сигнала совпадает с резонансной частотой усилителя, амплитуда колебаний, необходимая для перехода к самовозбуждению, оказывается наименьшей. В этом отношении различия между техническими регенеративными усилителями и клетками отсутствуют. Специфика живой клетки заключается в том, что внешние когерентные колебания резко интенсифицируют процесс формирования подструктур. Образуется резонансная система, включающая мембрану и белковые подструктуры, которая на определенном этапе формирования обеспечивает уже самостоятельную генерацию клеткой когерентных колебаний с узким спектром. Узость спектра определяется, как и в технических резонансных усилителях, высокой добротностью резонаторов, обеспечиваемой в данном случае тем,

¹ В дальнейшем для простоты будет говориться об одной полосе.

что периметр контура мембраны в области возбуждения генерации имеет очень большую электрическую длину (составляющую обычно сотни и тысячи длин акустоэлектрических волн [156]) при относительно небольших омических потерях. При отсутствии внешнего когерентного сигнала (например, сигнала терапевтических КВЧ-установок) процесс формирования подструктур и начала самостоятельной генерации клеткой интенсивных колебаний может существенно замедлиться. Замедление тем больше, чем слабее организм, в котором произошли нарушения. Сказанное определяет физическую природу и биологический смысл КВЧ-терапии как средства ускорения лечебного процесса.

Выше речь шла о когерентном внешнем сигнале. Но, как ясно из приведенного описания процессов, самовозбуждение когерентных колебаний может быть ускорено и в том случае, если в его резонансную систему ввести извне мощный шумовой сигнал, приближающий систему к порогу самовозбуждения и ускоряющий построение подструктур.

Для обеспечения терапии это (в отличие от значительно более мощных технических усилителей) имеет определенный смысл. Вводимый широкополосный шумовой сигнал может упростить процесс выхода на пучную частоту: резонансная характеристика мембран с подструктурами сама выберет соответствующую ей полосу в спектре шума. Введенный в резонансную систему узкополосный шумовой сигнал благодаря увеличению суммарной мощности шума в резонансной полосе приводит к ускорению формирования подструктур и переходу в режим генерации автоколебаний. Достоинства такого метода (прежде всего, снижение себестоимости терапевтических установок) были продемонстрированы, по-видимому достаточно убедительно, работами Н. Д. Колбуна [166]. Впрочем, нужно иметь в виду и существенные недостатки такого метода возбуждения.

Прежде всего, этим путем невозможно подготовить клетки к предстоящим неблагоприятным условиям (такого рода профилактика невозможна), так как в этом случае КВЧ-сигнал действует на систему, обладающую множеством резонансных частот и не обеспечивающую преимущественных условий возбуждения для какой-либо из них [156]. А справиться с энергозатратами, необходимыми для мобилизации сил сопротивления всем нарушениям одновременно, организм не может.

Еще более существен второй недостаток: эффективность метода быстро снижается в случае, когда КВЧ-терапия применяется к слабым организмам, медленно реагирующим на нарушения и возмущения. В таких случаях исходное формирование соответствующих нарушению (заболеванию) подструктур самим организмом протекает вяло. Резонансные свойства этих подструктур выражены слабо, и в результате эффект ускорения, связанный с использованием шумового сигнала, лишь немногим превосходит эффект подготовки здорового организма к последующим неблагоприятным воздействиям. Заметим, что в этом случае действие

шумового сигнала может привести к «засорению» структур на мембранах белковыми молекулами, резонансные частоты которых не соответствуют характеру нарушения, что неизбежно затруднит действия самого организма по устранению данного нарушения. Неэффективность использования широкополосного КВЧ-сигнала для ускорения процесса образования подструктур (а следовательно, и для ускорения биологического эффекта) была продемонстрирована в экспериментах со здоровыми клетками еще в [83].

Попытаемся также выяснить, имеются ли эксплуатационные преимущества, связанные с относительной широкополосностью шумового сигнала, по сравнению с узкополосным воздействием когерентными КВЧ-волнами. Для этого рассмотрим процесс преобразования частоты, на которой проводится КВЧ-облучение (в дальнейшем для краткости — частоты облучения), в частоту, характеризующую нарушение условий функционирования (в дальнейшем для краткости — частоты нарушения). Дело в том, что полоса частот, характерная для резонансных регенеративных усилителей (в том числе и клеток [155]), очень узка. Поэтому внешним сигналам попасть точно в эту полосу трудно. Но в случае, если организм еще не слишком ослаблен и способен к построению подструктур, хотя бы и неполному, то эти недостроенные подструктуры могут преобразовать частоту сигнала облучения в реально воздействующую на организм частоту, совпадающую с частотой нарушения. Такой процесс преобразования описан в [167, 158]; он эффективен, если разность частот облучения и нарушения не чрезмерно велика. Судя по данным экспериментов, описанных в докладе, аннотация которого приведена в [158], если организм не слишком ослаблен и способен самостоятельно облегчить построение подструктур более чем на половину той величины, которая может обеспечить самовозбуждение, то достройка этих подструктур при воздействии внешним КВЧ-сигналом эффективна при разностях частот облучения и нарушения, достигающих $\pm 10\%$. Таким образом, преимущества, связанные с относительной широкополосностью шумового сигнала, компенсируются преобразованием частоты самим организмом.

Для более ослабленных организмов, когда сам организм способен за приемлемый для лечебного процесса срок достроить подструктуры менее чем на половину той величины, которая может обеспечить самовозбуждение, допустимая разность частот облучения и нарушения сокращается; в пределах эта разность достигает половины ширины резонансных полос мембраны до образования на ней белковых подструктур¹. При значительном сокращении этой разности частот (по сравнению с вышеуказанной по-

¹ Во избежание недоразумений, вероятно, не будет лишним напомнить, что по мере увеличения размера элементов белковых подструктур на мембране повышается добротность резонансной системы клеток и соответственно сужается резонансная полоса частот. Но в то же время с увеличением размеров элементов подструктур возрастают силы, притягивающие к ним белковые молекулы

лосой, составляющей около $\pm 10\%$) целесообразно частоту КВЧ-воздействия определять, используя диагностическую КВЧ-аппаратуру.

Проведенный краткий анализ свойств клетки как недовозбужденного резонансного генератора, а также описание различных путей ускорения его перехода в режим автоколебаний, обеспечивающий ускорение процесса устранения нарушений (выздоровление), облегчает врачам и биологам выбор типа КВЧ-установки в конкретных случаях, а инженерам — определение необходимой номенклатуры создаваемых установок.

6.3. ГИПОТЕЗА О ВЗАИМОСВЯЗИ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ КОГЕРЕНТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ КВЧ-, ИК-, ОПТИЧЕСКОГО И УФ-ДИАПАЗОНОВ¹

Применение когерентных излучений малой мощности указанных диапазонов в медицинской и биологической практике приводит к необходимости постоянного уточнения представлений о процессах, происходящих в организме под влиянием этих излучений.

Важнейшим достижением на этом пути, по-видимому, явилась выработка представлений об информационно-управляющей роли излучений всех упомянутых диапазонов в жизнедеятельности, что является прямым следствием того, что сверхсложные системы многоклеточных организмов могут устойчиво работать только при наличии высокоразвитой системы управления, потребляющей достаточно малую энергию (совместимую с энергетическими возможностями организма) [60].

Излучение каждого из диапазонов на первый взгляд может обладать своей сферой действия, не имеющей тесной связи со сферами действия других диапазонов, и изучать их можно независимо друг от друга. Действительно, до настоящего времени действие на живые организмы волн разных диапазонов изучалось слабо взаимодействующими друг с другом группами ученых и тем не менее было плодотворным.

Однако сама сущность гомеостаза (относительного постоянства) подразумевает, что любые изменения в организме, в различных его системах, состоящих из функционально связанных между собой элементов, не могут быть изолированными; изменение одних функций должно вызывать изменения других, в той или иной степени компенсирующие неблагоприятное влияние первых на функциональные системы, хотя, вероятно, компенсация далеко не полна, а действия каждого диапазона имеют свои особенности. Предположение о возможности взаимосвязанного возбуждения колебаний различных диапазонов частот представляется особенно вероятным, когда речь идет о наиболее миниатюрных организ-

из цитоплазмы [165]. Именно это возрастание сил обеспечивает расширение полосы частот эффективного действия на организм внешнего КВЧ-сигнала за счет вовлечения в элементы подструктур белковых молекул с резонансными частотами, отличающимися от частот нарушения.

¹ Исследования выполнены совместно с Н. А. Савостьяновой.

мах — клетках, элементы которых должны участвовать в выполнении различных функций, так как разнообразие последних очень велико; а, как известно, излучения всех указанных диапазонов оказывают влияние в первую очередь на клеточные процессы.

Существенно ли изучение связи биологического действия излучения различных диапазонов частот для практической медицины и биологии?

Поскольку для различных диапазонов волн различны условия их ввода в организм и излучения в окружающее пространство, то предпочтительно в конкретных случаях использовать волны различных диапазонов, даже если биологические действия их аналогичны. Так как действие излучений, генерируемых клетками на различных частотах в различных диапазонах, лишь в совокупности может обеспечить поддержание гомеостаза¹, то, вероятно, единственным средством обеспечения оптимального хода восстановительных процессов становится использование взаимосвязи возбуждения указанных волн.

Сказанное не противоречит высказывавшимся ранее соображениям [60] о доминирующей роли КВЧ-волн в системе управления клеточными процессами, направленными на поддержание и восстановление гомеостаза, но должно расширить возможности, еще более поднять эффективность и упростить технику практического применения когерентных волн в медицине и биологии.

6.3.1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О ЕДИНСТВЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ КОЛЕБАНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ДИАПАЗОНОВ И ВЗАИМОСВЯЗАННОМ ИХ ВОЗБУЖДЕНИИ

При взаимосвязанном возбуждении в организме колебаний различных диапазонов частот (имеются в виду перечисленные выше диапазоны) биологические результаты воздействия на организм должны иметь много общих черт.

Сразу заметим, что пока из-за отдельного изучения каждого из диапазонов эти данные относительно немногочисленны и отрывочны. Прежде всего, бросается в глаза острорезонансный ($\Delta f/f$ порядка 10^{-3}) характер биологического отклика организма на действия когерентных излучений всех указанных диапазонов на организм (в дальнейшем для краткости будем говорить об острорезонансном характере действия)².

¹ Чтобы быть точными, отметим, что авторам неизвестны какие-либо работы, в которых анализировался бы вопрос или приводились данные о прямом участии когерентных волн ИК-диапазона в процессах поддержания или восстановления гомеостаза. Изучалась лишь роль этих излучений в процессах метаболизма [153]. Однако упоминание этого диапазона в контексте настоящего исследования представляется целесообразным, поскольку процессы поддержания и восстановления гомеостаза тесно связаны с метаболизмом.

² В настоящей работе говорится о собственных излучениях клеток и о воздействии на них внешних излучений тех же частот, как о факторах, связанных с одинаковыми биологическими процессами. Но строго соответствующее положение было доказано только применительно к КВЧ-диапазону частот.

Особенно многочисленные исследования острорезонансного действия были проведены отечественными и зарубежными исследователями в КВЧ-диапазоне (см. обзор [156]). Детально исследовались условия, которые необходимо выполнять для наблюдения острорезонансных воздействий этих волн на организм (см., например [16, 25]). Трудности вызвало воспроизведение острорезонансного эффекта при проведении экспериментов в разных местах, на разном биологическом материале. Поэтому анализу этого вопроса была посвящена специальная работа [159] (см. также § 6.1), в которой были описаны процессы, с помощью которых можно не только обеспечить высокую воспроизводимость, но и изучить форму резонансных кривых.

Во многих экспериментах наблюдалось наличие многих резонансов мембран, смещенных друг относительно друга по частоте. Каждой резонансной частоте соответствует свой характер биологического действия [156]. Резонансный характер биологического действия зафиксирован и в оптическом диапазоне [155], хотя изучение формы резонансных кривых в этом диапазоне осложняется трудностью обеспечения плавной перестройки лазеров в широком диапазоне частот. Впрочем, в работе [160] достаточно острая зависимость биологического эффекта от частоты была показана с помощью узкополосных фильтров, вырезавших соответствующие полосы в спектре излучения ламп накаливания.

В работах [59—86], посвященных в основном излучениям клеток в УФ-диапазоне, также идет речь об острорезонансном характере излучений и их связи с характером нарушения функционирования. Подчеркивается мультirezонансность.

Изучение роли излучений КВЧ-диапазона в функционировании клеток привело к выводу, что эта роль сводится в основном к поддержанию или восстановлению гомеостаза [157]: на текущее функционирование нормальных клеток, не имеющих нарушений, излучения практически не влияют [139]; при наличии нарушений КВЧ-воздействия на соответствующих резонансных частотах ускоряют протекание процессов устранения этих нарушений.

В посвященной роли УФ-излучений работе [59] описываются аналогичные наблюдения применительно к этому диапазону. Отмечается, что каковы бы ни были факторы, нарушающие функционирование клетки, они сказываются на изменении эмиссии фотонов из клетки.

О влиянии когерентных излучений оптического диапазона на некоторых резонансных частотах на восстановительные процессы в организме говорит широкое использование гелий-неоновых лазеров в медицине.

С точки зрения подтверждения обсуждаемой гипотезы о взаимодействии возбуждения колебаний разных диапазонов и их влиянии на организм существенно также то, что при лечении ряда заболеваний (язв желудка и 12-перстной кишки, трофических язв, стенокардии и других) могут быть с приблизительно одинаковым успехом использованы как излучения лазеров оптического диапа-

зона, так и волны КВЧ-диапазона на соответствующих нарушениях резонансных частот.

И для оптического, и для КВЧ-диапазона отмечается «панацейность» их действия на организм на соответствующих резонансных частотах, выражающихся в широком спектре их биологического действия [155] (см. также гл. 2).

Физический механизм такого «панацейного» действия, его связь с преобразованием частоты в организме применительно к КВЧ-диапазону были разобраны в [158] (см. также гл. 2). Предлагаемая гипотеза о взаимосвязи возбуждения колебаний на резонансных частотах в различных диапазонах волн наводит на мысль, что наблюдающаяся и в оптическом диапазоне «панацейность» [155] может иметь природу, аналогичную природе «панацейности» в КВЧ-диапазоне [165].

О многом говорит даже сравнение некоторых деталей действия на организмы волн разных диапазонов на их резонансных частотах. Так, при медикаментозном лечении язв желудка и 12-перстной кишки обычно образуются грубые рубцы, являющиеся одним из факторов, способствующих рецидивам заболевания. Как при использовании в терапии этого заболевания источников когерентного КВЧ-излучения, так и при использовании лазеров оптического диапазона грубых рубцов не образуется. Подобная картина имеет место и при лечении стенокардии.

Аналогичные явления при устранении нарушений наблюдаются в обоих диапазонах (КВЧ и оптическом) и при прерывистом воздействии волн на организм — чередовании облучений и пауз.

Приведенные данные о характере наблюдаемых явлений при воздействии на организм излучений рассматриваемых диапазонов на резонансных частотах, хотя эти данные пока не очень многочисленны, говорят о том, что аналогия наблюдаемых явлений вряд ли носит поверхностный, случайный характер. Аналогия говорит о правомерности выдвинутой гипотезы и целесообразности ее более тщательного и глубокого изучения.

6.3.2. ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ВЗАИМОСВЯЗАННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ВОЛН РАЗЛИЧНЫХ ДИАПАЗОНОВ

Как уже отмечалось, до настоящего времени работы в каждом из рассматриваемых диапазонов велись изолированными группами ученых и вопросы взаимосвязи различных диапазонов не изучались. В этих условиях приводимый ниже в основном качественный анализ содержит много гипотетического.

Прежде всего, поскольку сложные клеточные системы не могут не включать в себя нелинейных элементов, неизбежны нелинейные преобразования частоты. В частности, в работе [161] в качестве источника нелинейности рассматривается изменение электрической проницаемости в сильном электрическом поле (например, постоянная составляющая поля поляризации на липид-

ных мембранах имеет порядок 10^7 В/м, а переменная составляющая поля пропорциональна постоянной).

В соответствии с данными работ [155] и [153] девять исходных резонансных частот (17 910, 18 420, 19 560, 21 150, 23 970, 25 080, 27 960, 28 680 Гц) преобразуются в ходе процесса метаболизма в большую серию комбинационных частот, представляющих собой вторую и третью гармоники этих частот, частоты колебаний, появляющихся в ходе оптического смещения и параметрической генерации. При этом в начале клеточного цикла наблюдаются только исходные частоты, а в ходе процесса метаболизма спектр обогащается более высокочастотными линиями, что, по-видимому, связано с возрастанием со временем амплитуды генерируемых колебаний и соответственно увеличением амплитуды высших гармоник. Однако наиболее высокочастотные линии спектра, описанные описанному преобразованию частоты, не превышают $9 \cdot 10^4$ ГГц (3000 см^{-1}), т. е. не доходят до оптического диапазона, самые низкочастотные линии которого лежат выше $4 \cdot 10^5$ ГГц; тем более они не доходят до области УФ-спектра, начинающегося с частоты $7,5 \cdot 10^5$ ГГц. Эффективное преобразование частоты в эти диапазоны на основе перечисленных выше принципов осуществить, по-видимому, невозможно.

Генерация когерентных волн в ИК-части спектра, как уже отмечалось, связано, по-видимому, с процессом метаболизма [155] и происходящим в ходе этих процессов нарушением электрической симметрии клеток. Но процессы метаболизма — это естественные для функционирования клеток процессы и сами по себе гомеостаз нарушать не должны. Возбуждение же в клетках генерации когерентных волн КВЧ-, оптического и УФ-диапазонов возникает при нарушающих гомеостаз изменениях в клетках (для краткости обычно называемых просто нарушениями или более подробно — нарушениями нормального функционирования). С этой точки зрения в описанных выше ситуациях когерентные волны ИК-диапазона, с одной стороны, КВЧ-, оптического и УФ-диапазонов — с другой, осуществляют управление различными процессами, хотя, как отмечалось, вероятно, между этими процессами существует связь. Учитывая экспериментальные факты, изложенные в подпараграфе 6.3.1, можно сделать предположение о взаимозависимости возбуждения волн КВЧ-, оптического и УФ-диапазонов. Ниже обсуждается возможная физическая природа такого процесса.

Как известно [150], длина большинства белковых молекул лежит между 4 и 20 нм. Если учесть, что скорость распространения акустических волн составляет несколько сотен метров в секунду, резонансные частоты (основная гармоника) акустических колебаний большей части этих молекул лежат в КВЧ-диапазоне частот. Это, как было показано в [110, 165] (см. также гл. 2, 3), определило эффективность участия белковых молекул в системном процессе генерации клетками акустоэлектрических волн. Однако обращает на себя внимание и другое обстоятельство: эти же

молекулы могут явиться резонаторами для электромагнитных колебаний значительно более высоких частот. Так, если бы речь шла о волнах в вакууме, то длина волны в вакууме, равная длине молекулы (10 нм), соответствовала бы резонансной частоте $3 \cdot 10^{16}$ Гц. Однако если учесть, что эквивалентная относительная диэлектрическая проницаемость молекулы составляет несколько единиц, а линейные размеры резонаторов сложных форм нередко меньше длины волны приблизительно на порядок [162]¹, то можно определить возбуждаемые частоты, как приблизительно в 50 раз меньшие указанной величины, т. е. составляющие $5 \cdot 10^{14}$ Гц. Эта величина близка к частотной границе между УФ- и оптическим диапазонами и может объяснить возбуждение генерации колебаний как в том, так и в другом диапазоне. В частности, возбуждение акустических колебаний белковых молекул может быть связано с высвобождением энергии при ее преобразованиях в ходе метаболизма.

Поскольку электрические заряды распределены вдоль белковых молекул неравномерно, то акустические колебания белковой молекулы могут породить оба типа обсуждаемых колебаний: акустоэлектрические колебания КВЧ-диапазона, определяемые общей длиной молекулы, и колебания УФ- и оптического диапазонов, связанные с возбуждением в молекуле электромагнитных колебаний, сочетающихся с запасанием энергии упругих деформаций в точках резких изгибов молекулы. Так как оба типа рассмотренных колебаний связаны с одними и теми же молекулами, то одновременное возбуждение этих колебаний представляется естественным процессом. При этом нужно учесть, — что значения возбуждаемых одновременно конкретных резонансных частот разных диапазонов, их соотношение, а также соотношение амплитуд колебаний на этих частотах зависят от конфигурации белковых молекул. По-видимому, оптимальные конфигурации отбирались в ходе эволюции организмов.

Высказанные соображения могут объяснить то известное из клинической практики обстоятельство, что, хотя один и тот же терапевтический эффект, если его контролировать по какому-нибудь одному признаку, может быть достигнут использованием разных волн КВЧ-диапазона [156], с точки зрения совокупности признаков получаемые при этом результаты оказываются неравноценными. Например, при лечении язв желудка и 12-перстной кишки использование разных волн КВЧ-диапазона может привести к большим различиям во времени возникновения рецидивов.

¹ Уменьшение геометрической длины резонатора приблизительно на порядок по сравнению с длиной резонансной волны связано обычно с запасанием значительной энергии в каком-либо резервуаре (например, в емкости). В данном случае, учитывая возможность упругих (т. е. обеспечивающих возврат к исходному положению после устранения деформирующих сил) деформаций молекул сложной формы и взаимодействие электрических полей различных частей молекулы, можно предположить, что в ходе колебаний имеет место запасание энергии при упругих деформациях в точках резких изгибов белковых молекул.

Получение оптимальных результатов, по-видимому, может быть обеспечено только использованием диагностической КВЧ-аппаратуры [60], поскольку КВЧ-диагностика позволяет устанавливать оптимальные (среди различных, дающих положительный результат) воздействия излучений на организм конкретного пациента.

6.3.3. РАЗЛИЧИЯ В УСЛОВИЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛН РАЗНЫХ ДИАПАЗОНОВ

Различие на четыре порядка в частотах КВЧ, УФ- и оптического диапазонов, естественно, привело к качественно отличной технике, используемой для передачи этих излучений. В КВЧ-диапазоне используются в основном волноводная и полосковая техника и много реже квазиоптика. Оптическому и УФ-диапазонам более присуще использование оптических систем передачи и тонких диэлектрических волокон (световодов). Связанные с передачей излучений вопросы широко освещены в литературе. Для излагаемой же проблемы специфичны, вероятно, только два вопроса: а) определяемые различием техники передачи качественно разные возможности ввода излучений рассматриваемых диапазонов в организм и б) качественно различные условия излучения и приема клетками соответствующих волн.

Естественно, ввод излучений КВЧ-диапазона, особенно в его длинноволновой части, в организм через волноводы возможен лишь в ограниченном числе случаев. Но зато эти излучения могут распространяться по всему организму по миелиновым оболочкам аксонов, а также через кровеносную и лимфатическую системы с распространяющимися по ним активированными КВЧ-излучением клетками; одним из каналов распространения является система рефлексогенных зон, меридианов и точек акупунктуры [19] (см. гл. 4). Последние каналы широко используются и при лазерной терапии. Однако при лазерной терапии ввод излучения оптического диапазона в организм возможен и с помощью световодов, которые могут вводиться не только через широкие каналы, например пищевод, но и через многие кровеносные сосуды. Такая система подвода излучения к объекту воздействия может существенно повысить эффективность применения указанной терапевтической процедуры.

Но особенно принципиальны различия между КВЧ-диапазоном волн, оптическим и УФ-диапазонами. Как отмечалось в [152, 16] (см. также гл. 4), малый размер клеток по сравнению с длиной волны в КВЧ-диапазоне приводит к тому, что плотность потока излучаемых клетками когерентных волн уже на малом расстоянии от их поверхности снижается на 12 порядков, причем это снижение сопровождается стохастизацией излучения, т. е. превращением когерентного излучения в шумовое. Поэтому вне организма эти волны на фоне более мощных тепловых излучений принять не удастся. Действие указанных волн на частицы мерт-

вой материи или на живые организмы заметно лишь на расстояниях, меньших $\lambda/4$ (λ — длина электромагнитной волны в окружающей среде). Судя по отрицательным результатам многих экспериментов, влияние многоклеточных организмов друг на друга с помощью излучений этого диапазона не осуществляется.

Для УФ- и оптического диапазонов размеры клеток (например, их внешней мембраны) по сравнению с длиной электромагнитной волны нельзя считать малыми. Для клеток, диаметр которых составляет в среднем 5 мкм, периметр плазматической мембраны близок 15 мкм, т. е. превышает длину электромагнитной волны (даже если рассматривать длины волн в вакууме на границе между УФ- и оптическим диапазонами) приблизительно в 30 раз. Поэтому описанные в [156] (см. также гл. 3) «антенные системы» клеток, выстраиваемые с помощью волн КВЧ-диапазона, для волн оптического и УФ-диапазонов могут достаточно эффективно направлять поток излучения на значительные расстояния при еще приемлемых потерях в плотности потока. Каких-либо оснований предполагать наличие практически полной, как в случае волн КВЧ-диапазона, стохастизации излучений и утраты ими когерентности, нет. Вероятно, именно поэтому в своих работах А. Г. Гурвич [152] впервые, а за ним и другие авторы [153, 154] обнаружили влияние живых организмов друг на друга с помощью излучаемых ими волн УФ-диапазона (отражение или поглощение этих излучений нарушало связь).

Используют ли многоклеточные организмы связь с помощью излучений рассматриваемых диапазонов частот? Исключить этого нельзя, но и положительные утверждения этого плана пока нельзя считать полностью доказанными.

Однако ясно, что существование таких излучений и возможность осуществления с их помощью связи между организмами могут быть использованы в практической КВЧ-терапии и КВЧ-диагностике.

6.3.4. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗАННОГО ДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМ ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗНЫХ ДИАПАЗОНОВ

Ранее высказывались соображения о роли для организмов взаимосвязанного возбуждения в них колебаний разных диапазонов частот. Эти соображения достаточно ясно говорят о различных возможностях применения этой связи. В терапии, например, недостаточно эффективное для быстрого восстановления гомеостаза самовозбуждение в организме какой-либо из компонент излучения может быть скомпенсировано воздействием на организм излучений внешних технических источников.

В случае невозможности подвести к области нарушения излучение одного из диапазонов терапевтический эффект может быть в известной степени обеспечен подводом излучений другого диа-

пазона. Необходимые для этого экспериментальные данные постепенно накапливаются (см. подпараграф 6.3.2).

В некоторых случаях возбуждение волн одного диапазона посредством подвода к поверхности тела излучений другого может оказаться целесообразным даже с точки зрения снижения затрат энергии. Дело в том, что, например, волны КВЧ-диапазона ослабляются при их вводе в организм на двенадцать порядков за счет трансформации типов колебаний (из электромагнитных в акусто-электрические) [110]. Для волн же оптического и УФ-диапазонов такая трансформация не имеет места, отсутствуют и соответствующие потери. Выигрыш на двенадцать порядков может значительно перекрыть другие виды потерь. Впрочем, возбуждение одних диапазонов волн через другие имеет свои достаточно серьезные недостатки, которые здесь рассматриваться не будут.

Вероятно, еще более значительными и нетривиальными окажутся возможности использования описанных явлений в КВЧ-диагностике, позволяющей упрощать решение некоторых трудных для традиционной диагностики проблем [164]. КВЧ-диагностика [60] основана на определении излучения клеток организма в КВЧ-диапазоне при наличии нарушений его функционирования. Но определить наличие излучений в УФ- и оптическом диапазонах можно с помощью фотоэлектронных умножителей [59] проще, чем в КВЧ-диапазоне. А по этим последним излучениям уже можно составить представление о связанных с ними излучениях тех же клеток в КВЧ-диапазоне. Во всяком случае, проведение исследований в этом направлении представляется целесообразным.

Подводя итоги обсуждению высказанной гипотезы о взаимном возбуждении в клетках генерации колебаний в нескольких диапазонах частот, можно констатировать, что в пользу такого предположения говорят результаты клинических исследований, морфологических наблюдений, экспериментов. Это предположение может быть обосновано также физическими соображениями. Что же касается детальной экспериментальной проработки вопросов, связанных с этой гипотезой, то затраты на нее должны оправдаться возможностью получения результатов, существенных для практической медицины.

ИТОГОВЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

О СПЕЦИФИЧЕСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РОЛИ ИССЛЕДОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОГЕРЕНТНЫХ ВОЛН

Выявление способа передачи генетической информации с помощью ДНК и РНК от одного поколения к другому [62] легло в основу материалистических представлений об обеспечении стабильности живого мира. Без достаточной стабильности его существование было бы невозможным, так как нельзя представить, чтобы оптимизация многочисленных процессов, необходимых для поддержания жизни, и экономное расходование энергии могли реализоваться в условиях ничем не ограниченных изменений внутри организма и в среде обитания.

Однако одной стабильности для обеспечения нормальных условий жизнедеятельности недостаточно, так как определенные изменения в окружающей организм среде (температура, давление, влага, живое окружение и т. п.) и во внутреннем его состоянии (возрастные изменения, бесчисленные заболевания, травмы и пр.) происходят непрерывно. И на эти изменения при разных их сочетаниях организм должен отвечать адекватно.

Приспособление к некоторым изменениям может быть осуществлено за счет модификации генома при мейозе [41], при случайных мутациях, например, под действием ионизирующего излучения, при перемещениях мобильных диспергированных генов [33] и т. д. Но каждый акт изменения генома — это явление для данного организма (особенно многоклеточного¹) очень значительное. Геном — это фактор, определяющий в первую очередь стабильность, и его изменения при мутациях также несут на себе отпечаток стабильности, сохраняясь обычно в течение относительно длительного времени. Это относится даже к наименее инерционным среди генных перестроек — перестройкам, связанным с мобильными диспергированными генами.

Поскольку жизнь протекает в непрерывно сменяющих друг друга многочисленных и нередко важных для организма изменениях, то оптимизация условий жизнедеятельности требует, чтобы организм обладал возможностью быстро и целенаправленно себя

¹ Напомним, что для всех клеток многоклеточного организма геном почти одинаков.

модифицировать. И все вопросы, так или иначе рассматривавшиеся в книге, касались одного и процессов, ответственных за организацию и осуществление таких модификаций. Способность к целенаправленным модификациям должна, по-видимому, удовлетворять ряду требований. Упомянем некоторые из них:

1. Модификации должны отвечать как на общие для всего организма воздействия (например, такие, как смена климата), так и на локальные нарушения (травмы, местные инфекции, токсикозы и пр.). Для сложных организмов это означает, что модификации в зависимости от характера нарушений могут затрагивать отдельные клетки (а число клеток, например, у человека достигает 10^{15}), группы клеток и организм в целом. Иными словами, в зависимости от обстоятельств модификации могут быть местными или скоординированными, в отдельных частях организма или во всем организме. Видимо, только такая иерархическая система может обеспечить ответ на все многообразие факторов, требующих реакции организма.

2. Модификации, если речь идет об устранимых нарушениях условий существования, должны быть временными, приспособительными. После устранения нарушений организм должен возвращаться в исходное состояние, чтобы стать готовым к ответу на новые воздействия.

Однако в той мере, в которой речь идет об изменениях условий существования, сохраняющихся в течение периодов, соответствующих жизни нескольких поколений, модификации организма должны сохраняться в течение всего этого времени. По-видимому, в последнем случае они сочетаются со смещениями мобильных диспергированных генов (см. § 2.1).

3. Модификации организма не должны быть безынерционными: иначе организм без пужды и даже во вред себе реагировал бы на случайные «выбросы» и «наводки». Но инерционность в процессе модификации должна быть достаточно малой, чтобы длительность существования в неадекватных для организма условиях не могла привести его к гибели или необратимым вредным изменениям.

Из приведенной к настоящей книге дискуссии видно, что рассмотренная система жизнеобеспечения с помощью управляющих сигналов преимущественно КВЧ-диапазона частот, генерируемых самим организмом при нарушениях в его функционировании или организации, удовлетворяет изложенным соображениям и требованиям. Вероятно, это одна из важнейших систем приспособления организма к переменам в условиях существования.

Поэтому имитация работы этой системы с помощью когерентных излучений малой интенсивности, генерируемых техническими источниками колебаний, помощь этой системе в организации процессов управления в периоды, когда она не может самостоятельно справиться с этой функцией, должны в ближайшее время занять почетное место среди средств, используемых в медицине и биологии.

Авторы отдают себе отчет в том, что изложенная система взглядов о характере взаимодействия низкоинтенсивного миллиметрового излучения с биологическими объектами и о роли миллиметровых волн в функционировании и жизнеобеспечении живого объекта является не во всех деталях бесспорной. Однако изложенная выше концепция представляется нам внутренне согласованной и непротиворечивой. Несмотря на многолетние исследования, не было выявлено каких-либо противоречащих ей фактов. Поэтому авторы выражают надежду, что книга может быть полезной как специалистам, работающим в данной области — физикам, медикам, биологам, так и всем, кто пожелает познакомиться с обсуждаемой проблематикой и способствовать прогрессу в понимании механизмов взаимодействия электромагнитных волн миллиметрового диапазона с биологическими объектами и их роли в функционировании живых объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Девятков Н. Д. Развитие работ в области исследования нетепловых эффектов миллиметрового излучения//Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты; Сб. статей/Под ред. Н. Д. Девяткова. — М.: ИРЭ АН СССР, 1983. — С. 3—6.
2. Влияние миллиметровых волн на микрофлору воздуха помещений/В. Г. Адамско, Р. Л. Виленская, М. Б. Голант и др.//Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. — 1966. — Вып. 12. — С. 132—136.
3. Голант М. Б. Биологические и физические факторы, обуславливающие влияние монохроматических электромагнитных излучений миллиметрового диапазона малой мощности на жизнедеятельность//Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине; Сб. статей/Под ред. Н. Д. Девяткова. — М.: ИРЭ АН СССР, 1985. — С. 21—36.
4. Пресман А. С. Электромагнитные поля и живая природа. — М.: Наука, 1968. — 288 с.
5. Серия широкодиапазонных генераторов малой мощности миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн/М. Б. Голант, Р. Л. Виленская, Е. А. Зюлина и др.//Приборы и техника эксперимента. — 1965. — № 4. — С. 136—139.
6. Начало взаимного перекрытия диапазонов, осваиваемых лазерами и лампами обратной волны/М. Б. Голант, В. С. Савельев, З. Т. Алексеев и др.//Радиотехника и электроника. — 1965. — Т. 11, № 7. — С. 1321—1322.
7. Девятков Н. Д., Голант М. Б. Пути развития электронных приборов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн//Радиотехника и электроника. — 1967. — Т. 12, № 11. — С. 1973—1978.
8. Воздействие электромагнитных колебаний миллиметрового диапазона волн на биологические системы/Н. Д. Девятков, О. В. Бецкий, Э. А. Гельвич и др.//Радиобиология. — 1981. — Т. 21, № 2. — С. 163—171.
9. Резонансные явления при действии электромагнитных волн миллиметрового диапазона на биологические объекты/А. З. Смолянская, Э. А. Гельвич, М. Б. Голант, А. М. Махов//Успехи современной биологии. — 1979. — Т. 87, № 3. — С. 381—392.
10. 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.
11. Голант М. Б. Влияние монохроматических электромагнитных излучений миллиметрового диапазона малой мощности на биологические процессы//Биофизика. — 1986. — Т. 31, вып. 1. — С. 139—147.

12. Dardelhon M., Averbeck D., Berteaud A. Determination of a Thermal Equivalent of Millimeter Microwaves in Living Cells//J. Microwave Power. — 1979. — N 14. — P. 307—312.
13. 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.
14. Gründler W., Keilmann F. Sharp Resonances in Yeast Growth Prove Nonthermal Sensitivity in Microwaves//Phys. Rev. Letters. — 1983. — Vol. 51, N 13. — P. 1214—1216.
15. Девятков Н. Д., Голант М. Б., Реброва Т. Б. Радиоэлектроника и медицина//Радиоэлектроника. — 1982. — Т. 25, № 9. — С. 3—8.
16. Webb S. J. Factors Affecting the Induction of Lambda Prophages by Millimeter Microwaves//Phys. Letters. — 1979. — Vol. 73A, N 2. — P. 145—148.
17. Резонансный характер воздействий радиоволн миллиметрового диапазона на биологические системы//Л. А. Севастьянова, А. Г. Бородкина, Э. С. Зубенкова 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.
18. Андреев Е. А., Белый М. У., Ситко С. П. Проявление собственных характеристических частот организма человека//Доклады АН УССР, сер. Е. — 1984. — № 10. — С. 60—63.
19. Радиофизические аспекты использования в медицине энергетических и информационных воздействий электромагнитных колебаний//Н. Д. Девятков, Э. А. Гельвич, М. Б. Голант и др.//Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. — 1981. — Вып. 9 (333). — С. 43—50.
20. Девятков Н. Д., Голант М. Б. Об информационной сущности нетепловых и некоторых энергетических воздействий электромагнитных колебаний на живой организм//Письма в ЖТФ. — 1982. — Т. 8, вып. 1. — С. 39—41.
21. Fröhlich H. The Biological Effects of Millimeter Waves//Models Photoresponsiveness. Proc. NATO Adv. Study Inst. (San Moniato 29 Aug.—8 Sept. 1982). — New York, London. — 1983. — P. 30—42.
22. Девятков Н. Д., Бецкий О. В., Голант М. Б. Научное обоснование возможности использования электромагнитных излучений миллиметрового диапазона малой мощности в медицине и биологии//Биологические эффекты электромагнитных полей. Вопросы их использования и нормирования. — Пушино: Научный центр биологических исследований АН СССР. — 1986. — С. 75—94.
23. Перспективные исследования и методы для медицины и биологии//Электронная промышленность. — 1985. — Вып. 1. — С. 6—13, а также 1987. — Вып. 1. — С. 30—36.
24. Возможность регулирования жизнедеятельности микроорганизмов при воздействии на них электромагнитных колебаний миллиметрового диапазона//М. Б. Голант, А. К. Брюхова, Е. А. Двадцатова и др.//Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты; Сб. статей/Под ред. Н. Д. Девяткова. — М.: ИРЭ АН СССР. — 1983. — С. 115—122.
25. Брюхова А. К., Голант М. Б., Реброва Т. Б. Вопросы воспроизводимости результатов эксперимента при исследовании действия электромагнитных излучений нетепловой мощности миллиметрового диапазона волн на живые организмы//Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. — 1985. — Вып. 8 (380). — С. 52—57.
26. О характере воздействия миллиметрового излучения на синтез колицина//Р. Л. Виленская, Э. А. Гельвич, М. Б. Голант, А. З. Смолянская//Биологические науки. — 1972. — № 7. — С. 69—71.
27. Голант М. Б., Брюхова А. К., Реброва Т. Б. Некоторые закономерности действия электромагнитных излучений миллиметрового диапазона на микроорганизмы//Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. Сб. статей/Под ред. Н. Д. Девяткова. — М.: ИРЭ АН СССР. — 1985. — С. 157—161.

28. Применение волн миллиметрового диапазона для лечения хронических язв гастродуоденальной зоны/Л. З. Балакирева, М. Б. Голант, А. А. Головатюк и др.//Электронная промышленность. — 1985. — № 1. — С. 9—10.
29. Голант М. Б., Севастьянова Л. А., Фасахов И. Н. Химиотерапия в комбинации с электромагнитным излучением миллиметрового диапазона при лечении рака молочной железы//Электронная промышленность. — 1985. — № 1. — С. 10—11.
30. Исследование влияния миллиметровых волн на течение язвенной болезни/И. М. Корочкин, М. В. Пославский, А. А. Головатюк и др.//Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине: Сб. статей/Под ред. Н. Д. Девяткова. — М.: ИРЭ АН СССР. — 1985. — С. 84—90.
31. Использование комбинированного действия химиотерапии и ЭМИ при лечении злокачественных новообразований в гинекологии/Л. З. Балакирева, В. В. Баринов, А. Г. Бородкина и др.//Электронная промышленность. — 1985. — № 1. — С. 11—13.
32. Девятков Н. Д., Голант М. Б. О механизме воздействия электромагнитных излучений миллиметрового диапазона нетепловой интенсивности на жизнедеятельность организма//Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты: Сб. статей/Под ред. Н. Д. Девяткова. — М.: ИРЭ АН СССР. — 1983. — С. 18—33.
33. Георгиев Г. П., Гвоздев В. А. Мобильные диспергированные гены эукариот//Вестник АН СССР. — 1980. — № 6. — С. 19—27.
34. 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.
35. Влияние миллиметрового излучения низкой интенсивности на ионную проницаемость мембран эритроцитов/Н. Д. Девятков, О. В. Бецкий, С. А. Ильина, А. В. Путвинский//Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты: Сб. статей/Под ред. Н. Д. Девяткова. — М.: ИРЭ АН СССР. — 1983. — С. 78—88.
36. Ускорение перекисного окисления липидов под действием электромагнитного излучения миллиметрового диапазона/В. С. Шаров, К. Д. Казаринов, В. Е. Андреев и др.//Биофизика. — 1983. — Т. XXVIII, № 1. — С. 146—147.
37. 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.
38. Влияние миллиметрового излучения на биологические мембраны. Роль примембранного слоя воды//К. Д. Казаринов, А. В. Путвинский, В. С. Шаров, О. В. Бецкий. — М., 1982. — Препринт (ИРЭ АН СССР, № 13(340)).
39. Александров В. Я. Реактивность клеток и белки. — Л.: Наука, 1985. — 317 с.
40. Девятков Н. Д., Голант М. Б., Тагер А. С. Роль синхронизации в воздействии слабых электромагнитных сигналов миллиметрового диапазона волн на живые организмы//Биофизика. — 1983. — Т. 28, вып. 5. — С. 895—896.
41. Стейт Г., Кэлиндар Р. Молекулярная генетика. — М.: Мир, 1981. — 646 с.
42. Pohl H. A. Natural Oscillating Fields of Cells//Coherent Excitations in Biological Systems. — Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 1983. — P. 199—210.
43. Голованов М. В., Дерягин Б. В. О формировании и устойчивости периодических суспензий ореолообразующих клеток//М.: ДАН СССР. — 1983. — Т. 272, № 2. — С. 479—481.
44. Голант М. Б., Реброва Т. Б. Об аналогии между некоторыми СВЧ системами живых организмов и техническими СВЧ устройствами//Радиоэлектроника. — 1986. — № 10. — С. 10—13.

45. Исследование влияния частотной модуляции радиоволн на защиту костномозгового кроветворения животных, подвергающихся рентгеновскому облучению//Л. З. Балакирева, А. Г. Бородин, М. Б. Голант и др.//Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. — 1982. — № 7 (343). — С. 9—12.
46. Fröhlich H. The Biological Effects of Microwaves and Related Questions//Advances in Electronics and Electron Physics. — 1980. — Vol. 53. — P. 85—152.
47. Голант М. Б., Шашлов В. А. К вопросу о механизме возбуждения колебаний в клеточных мембранах слабыми электромагнитными полями//Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине: Сб. статей/Под ред. Н. Д. Девяткова. — М.: ИРЭ АН СССР. — 1985. — С. 127—131.
48. Ивков В. Г., Берестовский Г. М. Липидный бислой биологических мембран. — М.: Наука, 1982. — 224 с.
49. Бергельсон Л. Д. Мембраны, молекулы, клетки. — М.: Наука, 1982. — 183 с.
50. Blinowska K. J., Lech W., Wittlin A. Cell Membranes as a Possible Site of Fröhlich's Coherent Oscillations//Phys. Letters. — 1985. — Vol. 109A, N 3. — P. 124—126.
51. Webb S. J. Nutrition, Coherent Oscillations and Solitary Waves: the Control in Vitro Events in Time and Space and Relationship to Disease//IRCS Med. Sci. — 1983. — Vol. 11. — P. 483—486.
52. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. Т. II. — М.: Высшая школа, 1972. — 375 с.
53. Сотников О. С. Динамика структуры живого нейрона. — Л.: Наука, 1985. — 160 с.
54. Rowlands S. Coherent Excitations in Blood//Coherent Excitations in Biological Systems. — Berlin Heidelberg: Springer Verlag. — 1983. — P. 145—161.
55. Терентьева Э. И., Шишканова З. Г. Атлас ультраструктуры клеток кроветворной ткани. — М.: Медицина, 1972. — 135 с.
56. Иванцкий Г. Р. Борьба идей в биофизике. — М.: Знание, 1982. — 63 с.
57. Бочарова О. А., Модянова Е. А. Изменение межклеточных контактов гепатоцитов в онтогенезе у мышей инбредных линий с высокой (СВА) и низкой (С57В2) частотой спонтанных гепатом//Онтогенез. — 1982. — Т. 13, № 4. — С. 427—430.
58. Эдельман Д. М. Молекулы адгезии клеток и их роль в эмбриональном развитии//В мире науки. — 1986. — № 6. — С. 70—83.
59. Popp F. A. How Cells Communicate by Means of Coherent Electro—Magnetic Fields//Laser+Electro=Optic. — 1980. — Vol. 19, N 3. — P. 28—32.
60. Девятков Н. Д., Голант М. Б. О перспективах использования электромагнитных излучений миллиметрового диапазона в качестве высокоинформативного средства получения данных о специфических процессах в живых организмах//Письма в ЖТФ, 1986. — Т. 12, вып. 5. — С. 288—291.
61. Об использовании амплитудной модуляции для повышения эффективности работы аппаратуры, применяемой для информационных воздействий электромагнитных колебаний на живые организмы//Е. И. Балибалова, А. Г. Бородин, М. Б. Голант и др.//Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. — Вып. 8. — С. 6—7.
62. Watson J. D., Crick E. H. C. A Structure for Deoxyribonucleic Acid; Genetic Implication of the Structure of Deoxyribonucleic Acid//Nature. — 1953. — Vol. 171. — P. 737, 964.
63. Абрамов М. Г. Гематологический атлас. — М.: Медицина, 1984. — 344 с.
64. Черепанов В. В. Эволюционная изменчивость водных и наземных животных. — М.: Наука, 1986. — 239 с.
65. 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).
66. Rapoport S. M. Medizinische Biochemie. — Berlin: VEB Verlag «Volk und Gesundheit», 1984. — 400 S.

67. Тушмалова Н. А., Маракуева И. В. Сравнительно физиологическое исследование ультраструктурных аспектов памяти. — М.: Наука, 1986. — 143 с.
68. Фултон А. Цитоскелет, архитектура и хореография клетки. — М.: Мир, 1987. — 117 с.
69. Робинсон М. В., Тоноркова Л. Б., Труфакии В. А. Морфология и метаболизм лимфоцитов. — М.: Наука, 1986. — 127 с.
70. Карлсон Б. М. Регенерация. — М.: Наука, 1986. — 297 с.
71. Хесин Р. Б. Непостоянство генома. — М.: Наука, 1985. — 472 с.
72. Бабаева А. Г., Зотиков Е. А. Иммунология процессов адаптивного роста, пролиферации и их нарушений. — М.: Наука, 1987. — 207 с.
73. Исследование возможности использования миллиметровых излучений в комбинации с цитостатическими препаратами для обеспечения выживаемости животных при гипопластических состояниях костного мозга/Н. Д. Девятков, Э. С. Зубенкова, Л. А. Севастьянова, М. Б. Голант//Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения. — М.: ИРЭ АН СССР. — 1987. — С. 61—65.
74. Машанский В. Ф., Рабинович И. М. Ранние реакции клеточных органоидов. — Л.: Наука, 1987. — 119 с.
75. Ландау Л. Д., Лившиц В. М. Теоретическая физика, Т. П. Теории поля. — М.: Наука, 1988. — 510 с.
76. Голант М. Б., Сотников О. С. Об ультраструктурном обеспечении электромагнитной связи в системах живых клеток//Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения. — М.: ИРЭ АН СССР, 1987. — С. 131—137.
77. Девятков Н. Д., Голант М. Б. О выявлении когерентных КВЧ колебаний, излучаемых живыми организмами//Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения. — М.: ИРЭ АН СССР, 1987. — С. 126—130.
78. Торможение жизнедеятельности клеток/М. Е. Бекер, Р. И. Рапопорт, Л. В. Калакутский и др. — Гига: Знание, 1987. — 239 с.
79. Портнов Ф. Г. Электро-пунктурная рефлексотерапия. — Рига: Знание, 1980. — 217 с.
80. Keilmann F. Techniques in Microwave Studies//Collective Phenomena. — 1981. — Vol. 3. — P. 169—180.
81. Одно из возможных средств создания диагностической аппаратуры/Т. П. Божанова, А. К. Брюхова, М. Б. Голант и др.//Электронная промышленность. — 1987. — № 1. — С. 35.
82. Guerquin-Kern J. L. Hyperthermie Locale par Micro-Ondes en therapeutique Cancerologique. — L'Universite Louis Pasteur de Strasbourg. — 1980. — 132 P.
83. О возможности использования КВЧ когерентных излучений для выявления различий в состоянии живых клеток/Т. П. Божанова, А. К. Брюхова, М. Б. Голант и др.//Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения низкой интенсивности. — М.: ИРЭ АН СССР, 1987. — С. 90—97.
84. Определение компоненты электромагнитного поля миллиметрового диапазона, возбуждающей ЭМ колебания в клетках и выбор оптимальных форм облучателя/М. Б. Голант, К. Н. Гринберг, О. Ф. Зданович и др.//Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ, 1987. — Вып. 8. — С. 52—54.
85. Keilmann F. Biologische Resonanzwirkungen von Mikrowellen//Physik in Unserer Zeit. — 1985. — N 2. — S. 33—39.
86. Применение облучений УФ-лучами аутокрови для лечения больных ишемической болезнью сердца, страдающих тяжелой стенокардией/И. Е. Ганелина, Л. Н. Кукий, Е. П. Николаева, И. П. Криворученко//Механизмы влияния облучений УФ лучами крови на организм человека и животных. — Л.: Наука, 1986. — С. 63—74.
87. Furia L., Hill D. W., Gandhi O. P. Effect of Millimeter Wave Irradiation on Growth of *Saccharomyces Cerevisiae*//IEEE Trans. — 1986. — Vol. BME-33, N 11. — P. 993—999.
88. Hasted J. B. The Biomolecular Effects of Electromagnetic Radiation. Classical or Quantum Physics?//J. Bioefes. — 1985. — Vol. 4, N 2. — P. 367—387.
89. Land D. V. A Clinical Microwave Thermography System//IEE Proc. — 1987. — Vol. 134, N 2. — P. 193—200.
90. Лившиц М. А. К вопросу об участии когерентных фононов в биологических процессах//Биофизика. — 1972. — Т. XVII, вып. 4. — С. 694—695.

91. Фрелих Г. Когерентные возбуждения в биологических системах//Биофизика. — 1977. — Т. XXII, вып. 4. — С. 743—744.
92. Wu T. M., Austin S. Cooperative Behavior in Biological Systems//Phys. Letters. — 1978. — Vol. 65A, N 1. — P. 74—76.
93. Yushina M. Ya. Derivation of Kinetic Equation in Fröhlich Anharmonic Model//Phys. Letters. — 1982. — Vol. 91A, N 7. — P. 372—374.
94. Fröhlich H. Bose Condensation of Strongly Excited Longitudinal Electric Modes//Phys. Letters. — 1968. — Vol. 26 A. — P. 402.
95. Сидин Р. А., Сазонов В. П. Замедляющие системы. — М.: Сов. радио, 1966. — 632 с.
96. Диденко Н. П., Зеленцов В. И., Ча В. А. О конформационных изменениях биомолекул при взаимодействии с электромагнитным излучением//Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты. — М.: ИРЭ АН СССР, 1983. — С. 63—77.
97. Диденко Н. П., Горбунов В. В., Зеленцов В. И. Изменение динамики белка под воздействием электромагнитных колебаний нетеплового уровня//Письма в ЖТФ, 1985. — Т. II, № 24. — С. 1515—1520.
98. Диденко Н. П., Зеленцов В. И., Ча В. А. Исследование многорезонансного взаимодействия электромагнитных колебаний с молекулой гемоглобина методом ЯГРС//Труды НИИ ядерной физики при Томском политехническом институте. — М.: Энергониздат. — 1983. — Вып. 10. — С. 77—81.
99. Диденко Н. П., Зеленцов В. И., Чуприкова Е. М. Изменение константы равновесия реакции связывания нопов фтора гемоглобином при взаимодействии с миллиметровыми волнами//Тезисы докладов VI Всесоюзного семинара «Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине». — М., 1986. — С. 40.
100. Амелин Г. М., Блудов А. И., Диденко Н. П. Установка для мессбауэровской спектроскопии со сверхпроводящей магнитной системой. — Томск, 1986. Деп. в ВИНТИ 17.01.86 № 319-B.86. — 5 с.
101. Frauenfelder H. From Atoms to Biomolecules//Helvetica Physica Acta. — 1984. — Vol. 57. — P. 165—187.
102. Frauenfelder H., Gratton E. Protein Dynamics and Hydration//University of Illinois. — 1985. — Preprint III (ex)-85-1. — 26 P.
103. Protein States and Protein Quakes/A. Ansari, J. Berendzen, S. F. Bowne and oth//Proc. NATO Acad. Sci. USA. — 1985. — Vol. 82. — P. 5000—5004.
104. Жданов В. П. Скорость химических реакций. — М.: Наука, 1986. — 101 с.
105. Дерягин Б. В., Голованов М. В. Об электромагнитной природе сил отталкивания, формирующих ореолы вокруг клеток//Коллоидный журнал. — 1986. — Т. XXVIII, № 2. — С. 246—250.
106. Рабинович М. И., Трубецков Д. И. Введение в теорию колебаний и волн. — М.: Наука, 1984. — 432 с.
107. Schwan H. P., Foster K. R. RF-Field Interaction in the Biophysical Systems: Electrical Properties and Biophysical Mechanism//Proc. IEEE. — 1980. — Vol. 68, N 1. — P. 104.
108. Малеев В. Я., Кампур В. А., Щеголева Т. Ю. Диэлектрометрия в миллиметровом диапазоне длин волн как метод исследования взаимодействия биополимеров с водой//Нетепловые эффекты миллиметрового излучения. — М.: ИРЭ АН СССР, 1981. — С. 26—41.
109. Дмитриева Н. В. Симметричный подход к оценке функционального состояния организма человека//Известия АН СССР, Сер. Биологическая. — 1990. — № 1. — С. 55—67.
110. Голант М. Б., Реброва Т. Б. Экспериментальное определение мощности сверхслабых когерентных сигналов, генерируемых живыми клетками//Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. — 1988. — Вып. 4. — С. 51—54.
111. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. Т. I. — М.: Высшая школа, 1970. — 439 с.
112. Методические вопросы определения температуры биологических объектов радиофизическими методами: Сб. трудов. — М.: ИРЭ АН СССР, 1985. — 172 с.
113. Валитов Р. А. Радиофизические измерения. — М.: Сов. радио, 1963. — 632 с.
114. Влияние ЭМ излучений миллиметрового диапазона волн малой интенсивности на рост культуры лимфобластоидной линии/Т. И. Булычева, М. Б.

- Голант, И. А. Калинина и др.//Электронная промышленность. — 1988. — № 8. — С. 23.
115. Влияние излучения миллиметрового диапазона на эффективность трансплантации костного мозга/Н. Д. Девятков, Л. А. Севастьянова, Э. С. Зубенкова, М. Б. Голант//Радиобиология, 1988. — № 3. — С. 361—364.
 116. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на выживаемость животных при облучении нейтронами/Н. П. Диденко, А. В. Замотринский, А. И. Горбатенко и др.//Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения. — М.: ИРЭ АН СССР, 1987. — С. 75—78.
 117. Зависимость длительности КВЧ облучения, необходимой для синхронизации клеток, от длины волны и от исходных условий; возможность использования этой зависимости для создания диагностической аппаратуры/Т. П. Божанова, А. К. Брюхова, М. Б. Голант и др.//Электронная промышленность. — 1988. — № 4. — С. 76—77.
 118. Алексеев А. А., Самойлович Э. Ф., Голант М. Б. Опыт применения электромагнитных излучений КВЧ-диапазона в детской хирургии и травматологии//Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения. — М.: ИРЭ АН СССР, 1987. — С. 56—60.
 119. Давыдов А. С. Биология и квантовая механика. — Киев: Наукова думка, 1979. — 296 с.
 120. Девятков Н. Д. Возможность использования ЭМИ нетепловой интенсивности с целью предупреждения распространения процесса у больных меланомой кожи//Миллиметровые волны в медицине и биологии. — М.: ИРЭ АН СССР, 1989. — С. 10—15.
 121. Петров Р. В. Иммунология. — М.: Медицина, 1987. — 415 с.
 122. Вейсман И. Г., Худ Л. Е., Вуд У. Б. Введение в иммунологию. — М.: Высшая школа, 1983. — 160 с.
 123. Брондз Б. Д. Т-лимфоциты и их рецепторы в иммунологическом распознавании. — М.: Наука, 1987. — 474 с.
 124. Ада Г. Л., Носсал Г. Клонально-селекционная теория//В мире науки. — 1987. — № 10. — С. 30—38.
 125. Севастьянова Л. А. Биологическое действие радиоволн миллиметрового диапазона на нормальные и злокачественные новообразования//Эффекты нетеплового воздействия миллиметровых излучений на биологические объекты. — М.: ИРЭ АН СССР, 1983. — С. 48—62.
 126. Голант М. Б. Подход к механизмам иммунологии с позиций радиоэлектроники//Радиоэлектроника. — 1989. — Вып. 10. — С. 55—71.
 127. Швембергер И. Н. Нормализация опухолевых клеток. — Л.: Наука, 1987. — 142 с.
 128. Голант М. Б., Севастьянова Н. А., Тарасова Т. П. Роль генерации клетками когерентных колебаний в организации клеточных ансамблей//Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. — 1988. — Вып. 7. — С. 29—33.
 129. Влияние электромагнитного излучения мм диапазона на показатели системы иммунитета при гиперпластических процессах матки в эксперименте/В. Н. Запорожан, Т. Б. Реброва, О. В. Хаит и др.//Медико-биологические аспекты мм излучения. — М.: ИРЭ АН СССР, 1987. — С. 21—34.
 130. Девятков Н. Д., Голант М. Б., Реброва Т. Б. Различия в подходе к установлению обратимых и необратимых нарушений организма с помощью когерентных излучений миллиметрового диапазона волн//Миллиметровые волны в медицине и биологии. — М.: ИРЭ АН СССР, 1989. — С. 106—114.
 131. Stux G., Jayasuriya A. Atlas der Akupunktur. — Berlin Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1982. — 220 S.
 132. Бецкий О. В., Голант М. Б., Девятков Н. Д. Миллиметровые волны в биологии. — М.: Знание, 1988. — 64 с.
 133. Зуев С. М. Статистическое оценивание параметров математических моделей заболеваний. — М.: Наука, 1988. — 123 с.
 134. Weisburg S. DNA Helix found to Oscillate in Resonance with Microwaves//Sciens News. — 1984. — Vol. 125, N 16. — P. 248.
 135. Тяжелова В. Г. Кинетический принцип в межвидовых экстраполяциях. — М.: Наука, 1988. — 193 с.

136. Девятков Н. Д., Бецкий О. В., Голант М. Б. Использование когерентных волн в медицине и биологии//Физика: интеграция науки и техники. — М.: Знание, 1988. — С. 50—64.
137. Агранович В. М., Миллс Д. Л. Поверхностные поляритоны. Электромагнитные волны на поверхностях и границах раздела. — М.: Наука, 1985. — 525 с.
138. Старовойтова Р. П., Бобровников М. С., Кислицина В. Н. Дифракция поверхностной волны на изломе импедансной плоскости//Радиотехника и электроника. — 1962. — Т. 7. — С. 250.
139. Голант М. Б. Возбуждение КВЧ автоколебаний в клетках живых организмов и их роль в процессах восстановления нормального функционирования клеток//Проблемы физической электроники. — Л.: ФТИ АН СССР и ЛПИ, 1988. — С. 52—69.
140. Колкунов Н. В. Основы расчета упругих оболочек. — М.: Высшая школа, 1987. — 256 с.
141. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. — М.: Наука, 1974. — 942 с.
142. Купер Л. А., Шепард Р. Н. Медленное вращение объекта//В мире науки. — 1986. — № 2. — С. 58—65.
143. Браун А. Л., Моженко Т. П. Неспецифический адаптационный синдром. — Л.: Наука, 1987. — 231 с.
144. Бродский В. Я., Нечаева А. В. Ритм синтеза белка. — М.: Наука, 1988. — 239 с.
145. Webb S. J., Booth A. D. Absorption of Microwaves by Microorganisms//Nature. — 1969. — N 222. — P. 1199—1200.
146. Уголев А. М. Естественные технологии биологических систем. — Л.: Наука, 1987. — 317 с.
147. Погорелов А. В. К теории выпуклых упругих оболочек в закритической стадии. — Харьков: Гос. университет, 1960. — 78 с.
148. Чернавский Д. С., Хургин Ю. И. Физические механизмы взаимодействия белковых макромолекул с КВЧ-излучением//Миллиметровые волны в медицине и биологии. — М.: ИРЭ АН СССР, 1989. — С. 227—235.
149. Абрамов В. В. Взаимодействие иммунной и нервной систем. — М.: Наука, 1988. — 166 с.
150. Рис Э., Стернберг М. От клеток к атомам. — М.: Мир, 1988. — 143 с.
151. Биология/Ю. К. Боговявленский, Т. Н. Улиссова, И. М. Яровая, В. Н. Ярыгин. — М.: Медицина, 1985. — 560 с.
152. Гурвич А. Г. Принципы аналитической биологии и теории клеточных полей. — М.: Наука, 1990. — 102 с.
153. Казначеев В. П., Михайлова Л. П. Сверхслабые излучения в межклеточных взаимодействиях. — М.: Наука, 1981. — 144 с.
154. Казначеев В. П., Михайлова Л. П. Биоинформационная функция естественных электромагнитных полей. — М.: Наука, 1985. — 182 с.
155. Лазеры в клинической медицине/Под ред. С. Д. Плетнева. — М.: Медицина, 1981. — 399 с.
156. Голант М. Б. О проблеме резонансного действия когерентных электромагнитных излучений миллиметрового диапазона волны на живые организмы//Биофизика. — 1989. — Т. XXXIV, № 2. — С. 339—348.
157. Голант М. Б. Резонансное действие когерентных электромагнитных излучений миллиметрового диапазона волны на живые организмы//Биофизика. — 1989. — Т. XXXV, № 6. — С. 1004—1014.
158. Область частот эффективного действия КВЧ-излучений, направленного на устранение функциональных нарушений/Т. П. Божанова, М. Б. Голант, В. А. Кычаев и др.//Тез. докл. VII Всесоюз. семинара «Применение КВЧ-излучения низкой интенсивности в биологии и медицине». — М.: ИРЭ АН СССР, 1989. — С. 110.
159. Голант М. Б. Методы экспериментального определения резонансных частот при КВЧ-воздействиях на живые организмы//Тез. докл. VII Всесоюз. семинара «Применение КВЧ-излучения низкой интенсивности в биологии и медицине». — М.: ИРЭ АН СССР, 1989. — С. 117.

160. Зависимость биологического действия низкоинтенсивного видимого света на клетки HeLa от когерентности, дозы, длины волны и режима облучения/Т. И. Кару, Г. С. Календа, В. С. Летохов, В. В. Лобно//Квантовая электроника. — 1982. — Т. 8, № 9. — С. 1761—1767.
161. Del Giudice E., Doglia S., Milani M. Nonlinear Properties of Electric Vibrations in Living Cells//Phys. Letters. — 1981. — Vol. 85A, N 6, 7. — P. 402—404.
162. Лебедев И. В., Шинников А. С. Планырные и объёмные резонаторы СВЧ. — М.: МЭИ, 1986. — 46 с.
163. Голант М. Б., Бобровский Ю. Л. Генераторы СВЧ малой мощности. — М.: Сов. радио, 1977. — 336 с.
164. Тарасов К. Е., Великов В. И., Фролова А. И. Логика и семиотика диагноза. — М.: Медицина, 1989. — 271 с.
165. Голант М. Б., Савостьянова Н. А. Радиоэлектронное обоснование возможности использования КВЧ-генераторов, работающих на одной и той же частоте, для лечения многих заболеваний//Электронная техника, Сер. Электроника СВЧ. — 1989. — Вып. 6. — С. 48—53.
166. Колбун Н. Д. Экспериментальные исследования воздействия низкоинтенсивного КВЧ-шума на биологические объекты//Тез. докл. VII Всесоюз. семинара «Применение КВЧ-излучения низкой интенсивности в биологии и медицине». — М., 1989. — С. 42.
167. Девятков Н. Д., Голант М. Б., Бецкий О. В. Краткие сведения для врачей о физических особенностях процессов, происходящих в организме при высокоэффективной КВЧ-терапии. — Фрязино: Изд. НПО «Исток», 1989. — 12 с.
168. Савостьянова Л. А., Виленская Р. Л. Исследование влияния радиоволн миллиметрового диапазона на костный мозг мышей//УФН. — 1973. — Т. 110, вып. 3. — С. 456—458.
169. Fröhlich H. Coherent Electric Vibrations in Biological Systems and the Cancer Problem//IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques. — 1978. — Vol. MMT-26, N 8. — P. 613—617.
170. ГОСТ 24375—80. Радиосвязь. Термины и определения.
171. Frey A. H. Auditory System Response to Modulated Electromagnetic Energy//Aerosp. Med. — 1961. — Vol. 32. — P. 1140—1142.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Глава 1.	
Характер влияния ЭМИ на функционирование живых организмов. Экспериментально установленные закономерности и гипотезы, выдвинутые для их объяснения	8
1.1. Начало исследований	8
1.2. Природа острорезонансного действия ЭМИ на устранение или предотвращение нарушений функционирования живых организмов	12
1.3. Энергетическое обеспечение управляющих действий ЭМИ. Энергетические действия ЭМИ	18
Глава 2.	
Экспериментальные и теоретические исследования, обосновывающие гипотезы о природе действия КВЧ-излучений на организмы. Вероятный механизм генерации клетками КВЧ-колебаний	25
2.1. Эксперименты и исследования, подтверждающие выдвинутые гипотезы о природе действия ЭМИ; накопление данных для уста-	

Глава 3.

Механизмы управления внутриклеточными восстановительными и приспособительными процессами с помощью генерируемых клетками когерентных волн; основные гипотезы и их обоснование

66

3.1. Радиоэлектронные процессы при устранении искажений клеточных мембран

66

3.2. Роль когерентных волн в образном восприятии внутриклеточной информации. Природа широкого спектра биологического действия ЭМИ

78

3.3. Радиофизический характер регулирования клетками динамики происходящих в них биохимических процессов, направленных на поддержание гомеостаза

80

3.4. О возможности использования методов радиофизики для формирования энергетических процессов при адаптивном росте внутри организма

83

Глава 4.

Исследование излучаемых клетками когерентных волн и специфических биофизических особенностей их использования живыми организмами

87

4.1. Исследование генерируемых клетками когерентных колебаний. Оценка их мощности. Межклеточные силовые взаимодействия

87

4.2. Выполнение когерентными волнами функции управления межклеточными процессами и процессами в организме

107

Глава 5.

Некоторые биофизические вопросы использования когерентных волн в медицине

117

5.1. Подход к механизмам иммунологии с позиций радиофизики

117

5.2. Различие в подходе к устранению обратимых и необратимых функциональных нарушений организма с помощью когерентных излучений миллиметрового диапазона волн

129

5.3. Электромагнитное излучение как диагностическое средство, позволяющее проложить прямой путь от диагностики к терапии

134

Глава 6.

Некоторые вопросы электродинамики живых организмов

136

6.1. О методах изучения острорезонансного ответа живых организмов на КВЧ-воздействия

136

6.2. Клетка как недовозбужденный резонансный генератор. Использование внешних когерентных и шумовых сигналов для ускорения перехода к режиму генерации

146

6.3. Гипотеза о взаимосвязи воздействий на живые организмы когерентных излучений малой мощности КВЧ-, ИК-, оптического и УФ-диапазонов

149

Итоговые замечания. О специфической биологической роли исследованной системы жизнеобеспечения с помощью когерентных волн

158

Список литературы

160