АКАДЕМИЯ НАУК СССР
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМАМ БИОСФЕРЫ
МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ СССР
ВСЕСОЮЗНОЕ НАУЧНОЕ МЕДИКО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В БИОСФЕРЕ

ТОМ II

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Под редакцией
доктора физико-математических наук Н.В. КРАСНОГОРСКОЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"
Москва 1984

УДК 591.544

Электромагнитные поля в биосфере (в двух томах). Т.II. Биологическое действие электромагнитных полей. М.: Наука, 1984.

В книге излагаются результаты исследований действия электромагнитных полей в широком диапазоне частот на биологические системы и их модели. Оценивается роль неравновесных состояний живой материи, электрических сил и информационных взаимодействий в этих процессах. Обсуждаются общие подходы и некоторые результаты исследования механизмов биологического действия электромагнитных полей и излучений. Особое внимание уделено механизмам действия слабых сигналов и биоусиления. Оценивается роль внешних факторов в медикаментозном лечении, приводятся примеры практического использования электромагнитных полей в медицине и биологии.

Книга рассчитана на специалистов разного профиля, интересующихся проблемами взаимодействия внешней среды с биологическими системами и охраны биосферы, а также на экологов, биофизиков, биохимиков, медиков и других лиц, работающих в смежных областях.

Табл. 10. Ил. 54. Библиогр. 1062 назв.

Ответственные редакторы

академик А.В.Фокин,
академик АМН СССР В.П.Казначеев

$\frac{2001040000 - 168}{042(02) - 84}$ без объявления

© Научный совет по проблемам биосферы АН СССР, 1984 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемый читателю второй том коллективной монографии "Электромагнитные поля в биосфере" является логическим продолжением обсуждения проблемы взаимодействия внешней среды (в основном, электромагнитных полей) с биологическими системами, начатом в первом томе "Электромагнитные поля атмосферы Земли и их биологическое значение".

Второй том "Биологическое действие электромагнитных полей" состоит из трех глав и приложения.

В главе I излагаются общие свойства живых систем и их изменения под влиянием электромагнитных полей различных частотных диапазонов на всех уровнях организации биосистем. Основным методологическим принципом, на базе которого ведется обсуждение, является концепция Баузра об устойчивом неравновесии живой материи. Важнейшим свойством устойчиво-неравновесных систем является их способность к биологическому усилению слабых сигналов, что имеет первостепенное значение для развития представлений об информационной роли электромагнитных полей. Приводятся результаты экспериментальных исследований влияния электромагнитных полей на метаболизм, активность ферментов, адаптационные и регуляторные механизмы, на нормальный и злокачественный рост, на физиологические системы. Рассматриваются данные об избирательной чувствительности организмов к различным частотным диапазонам электромагнитных излучений, о зависимости реакций биообъектов от параметров действующих сигналов. Показано, что электромагнитные поля в зависимости от частотного диапазона могут оказывать как стимулирующее, так и ингибирующее действие, например, на развитие злокачественных новообразований. Кроме того, электромагнитные излучения могут изменять эффекты действия других факторов (физико-химических, биологических) на организм, усиливая или ослабляя их действие. Уделяется внимание вопросам, которые в стандартных руководствах по биофизике и исследованиях влияния электромагнитных полей на организмы не получили до сих пор достаточного освещения. Рассматривается роль кожного анализатора, как важного канала передачи сигналов электромагнитных полей из внешней среды в организм. Несомненный интерес предотавляет также комплексное рассмотрение проблем электромагнитобиологии и биоритмологии, являющееся примером взаимодействия близких по методологии и направленности областей науки.

Обсуждению механизмов действия электромагнитных полей на биологические и модельные системы посвящена глава II. В ней рассмотрены общие аспекты постановки и исследования проблем взаимодействия электромагнитных полей с биологическими системами и ведущие направления изучения механизмов этих процессов. Основное внимание уделяется фактам и закономерностям, связанным не с тривиальным тепловым действием электромагнитных полей, а с их информационной, сигнальной ролью. Приведенный в этой главе материал отражает современное состояние представлений о механизмах действия электромагнитных полей. Читатель получит хороший обзор су-

ществующих концепций, представленных в трудах отечественных и зарубежных ученых, а также познакомится с некоторыми новыми направлениями, которые разрабатываются авторами монографии. Материалы этой главы интересны не только биологам, но и физикам, для которых электромагнитобиология может стать весьма привлекательной областью исследований как в теоретическом, так и в экспериментальном плане.

Проблемы комплексного использования электромагнитных полей в диагностике и лечении в сочетании с лекарственной терапией посвящена глава III. Первоочередное внимание уделяется методам, опирающимся на применение сравнительно слабых электромагнитных полей и токов, действие которых не сводится лишь к нагреву тканей, существенному в стандартных физиотерапевтических методах. В частности, не сводимы к тепловым эффектам те явления, которые лежат в основе влияния электромагнитных полей низкой частоты и слабых токов на процессы тканевой трофики и регенерации. Рассматриваются некоторые диагностические аспекты использования характеристик электромагнитных полей, которым в стандартных руководствах по электрофизиологии обычно не уделяется достаточного внимания, в частности, методы использования электрических параметров клеток в биологии и медицине. Предлагаются некоторые новые тесты для характеристики патологических состояний организмов, приводятся примеры использования низкочастотных магнитных полей в травматологии и офтальмологии.

Изложенные результаты исследований открывают широкие перспективы для практического использования электромагнитных полей в решении прикладных задач и дают основания для разработки и дальнейшего совершенствования приборов и аппаратуры, основанных на эффектах биологического действия электромагнитных излучений. Развитие исследований в области электромагнитобиологии и медицины требует решения большого числа новых задач по созданию и метрологическому обеспечению поисковых исследований специальной аппаратурой.

В приложении изложены концепция глобального эксперимента "Солнце-климат - человек" и методология информационного обеспечения исследований в области электромагнитобиологии и медицины.

По нашему мнению, монография привлечет внимание многих исследователей к постановке новых и успешному решению существующих проблем в области взаимодействия внешней среды с биосистемами и послужит стимулом для разработки более совершенных форм контрольно-измерительной техники.

В.П.Казначеев
Р.И.Утямышев

ГЛАВА I. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ

I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

I.I. Устойчивое неравновесие - основа избирательной чувствительности организма

В процессе эволюции живые организмы выработали чрезвычайно совершенные, зачастую находящиеся на пределе разрешенных законами физики возможностей, механизмы ответных реакций на изменения факторов внешней среды. Эти механизмы обеспечивают как согласованное взаимодействие частей целостного организма, так и гармоническое соответствие между частями биосферы как целого [1]. Характерной чертой этих механизмов является способность избирательно реагировать на специфические параметры раздражителя, такие, как амплитуда, частота и, в более общем случае, "код" сигнала. Хорошо изучены в настоящее время механизмы кодирования информации, связанные со специальными рецепторными клетками - фото-, механо-, хемо- и терморецепторами, настроенными на восприятие специфических форм энергии, обеспечивающих контактное и дистантное взаимодействие между организмами [2]. Вопрос о наличии и характере избирательной чувствительности живых объектов к электромагнитным полям (ЭМП) является одним из основных в современной электромагнитобиологии.

Несмотря на огромное разнообразие типов рецепторов, существует глубокая общность биофизических процессов, лежащих в основе избирательной чувствительности. Основой любого рецепторного акта является, как стало ясно в последние годы, конформационный переход специализированного белка, происходящий под действием физического фактора [3,4]. Конформационные переходы белков-рецепторов являются начальной стадией восприятия действия раздражителей любой физической природы. Однако это лишь первая стадия процесса биологического усиления.

Для того, чтобы организм (в простейшем случае - отдельная клетка) мог ответить на сигнал из внешнего мира адекватной реакцией, необходимо с точки зрения биологической кибернетики [1] иметь в самой структуре организма избыточную энергию, способную "разрядиться" под действием пускового внешнего фактора. При этом энергия внешнего воздействия может быть на много порядков меньше, нежели ответная реакция организма.

Существование усилительных систем, способных развивать в ответ на слабое сигнальное воздействие реакцию, многократно превосходящую по энергии исходный сигнал, является общим требованием кибернетики, не зависящим от конкретной природы кибернетической системы. В биологических системах наличие таких усилителей связано с фундаментальным свойством живой материи, которое было выражено Э.С.Бауэром в понятии

"устойчивого неравновесия" [5]. Представления об устойчивом неравновесии живой материи получили полное признание лишь в 60-70-х годах, чему немало способствовали глубокие исследования в области термодинамики открытых систем [6,7].

Принцип устойчивого неравновесия, являющийся основным постулатом теоретической концепции Бауера, формулируется следующим образом: "Все и только живые системы никогда не находятся в равновесии и исполняют за счет своей свободной энергии постоянно работу против равновесия, требуемого законами физики и химии при существующих внешних условиях" [5, с.12].

Опираясь на этот постулат, Бауэр логически выводит как следствия те свойства живой материи, которые обычно рассматриваются как "основные черты жизни" - обмен веществ, размножение и рост, наследственность, мутационную изменчивость, раздражимость и возбудимость, демонстрируя таким образом общебиологическое значение этого принципа.

Принцип устойчивого неравновесия - фундаментальный принцип биологической кибернетики [1], обладающий большой эвристической силой и проявляющийся в поведении любой целостной биологической системы на всех уровнях иерархии биосистем (клетка, ткань, орган, организм, биоценоз, биосфера). Устойчивое неравновесие - качественно новая форма устойчивости, характерная именно для "больших" систем [1], обладающих развитой сетью внешних и внутренних обратных связей. В таких системах появляется возможность реализовать избыток свободной энергии для совершения "работы против равновесия", используя вещественные структуры, существующие и функционирующие только при условии постоянного притока энергии. Термодинамика неравновесных процессов позволила с общей точки зрения понять способность живых систем "противостоять" действию второго начала термодинамики, "питаясь отрицательной энтропией", в соответствии с тезисом Шредингера [8]. Таким образом, был сделан серьезный шаг вперед по сравнению с классической термодинамикой в понимании того, "что такое жизнь с точки зрения физики" [8].

При небольших отклонениях от равновесия (что характерно для биологических систем) появляются устойчивые состояния, принципиально не сводимые к стационарным - устойчивые циклы, автоколебания. Возникают специфические неравновесные структуры (называемые "диссипативными"), поведение которых изучается в соответствующих разделах неравновесной термодинамики [9,10]. Возникновение диссипативных структур и автоколебательных режимов создает материально-энергетическую основу устойчивого неравновесия. На этой основе элементарные подсистемы объединяются в единое целое, возникают устойчиво неравновесные состояния различных уровней.

Строго говоря, равновесные системы существуют только в абстракции. Однако живые неравновесные системы "бесцельно" диссипируют свою свободную энергию и только в отдельных случаях (и в малой мере) расходуют ее для поддержания исходного неравновесного состояния. Суще-

ствующие же технические кибернетические системы потребляют энергию ст внешних источников, причем утилизация ее не зависит от неравновесной отруктуры элементов самой системы.

Устойчивое неравновесие живых систем служит той основой, которая обеспечивает их способность "вырваться" из области действия второго начала термодинамики и вступить на путь эволюционного развития. Способность реагировать на изменения состояния среды проходит в процессе эволюции огромный путь ст универсальной неспецифической реакции, в основе которой лежит общая способность белков к обратимой денатурации [11,12], дс высокоспециализированных целостных реакций в ответ на сигнал, в роли которого может выступать отдельная молекула или единичный квант. Такие целостные реакции называют "синэргиями" [1,13]. Многие синэргии связаны с процессами, протекающими в мембранах. В работе [14] развита и аргументирована гипотеза о генерализованном распространении конформационных перестроек в мембранах и представлены интересные факты, свидетельствующие с процессах биологического усиления. Представления о "метастабильном" состоянии структур [14-16], по нашему мнению, нужно уточнить, заменив их представлениями сб устойчиво неравновесном состоянии. В обычных метастабильных системах избыток свободной энергии под действием внешнего фактора выделается необратимо, зачастую с разрушением исходной структуры (лавина, взрыв, мгновенно кристаллизующийся перенасыщенный раствор и т.д.). В противовес этому устойчиво неравновесные системы, обраснвая под влиянием сигнала избыточную свободную энергию, реализуют специфическую синэргию, кстсрая, как правилс, приводит к восстановлению исходнсго неравнсвеснсго состояния (нервный импульо, мышечное сокращение, деятельность транспсртных и выделительных систем организма). Устойчивое неравновесие, таким образом, обеспечивает проявление "реально существующего и чрезвычайно важного принципа биологического усиления слабых воздействий" [17, с.59], который имеет первостепенное значение для решения проблем электромагнитобиологии и делает возможной постановку вопроса об "информационном взаимодействии ЭМП с биологическими системами" [18].

Факты, свидетельствующие о наличии специфических триггерных реакций, сигналом для запуска которых является ЭМП, достаточно разнообразны и убедительны. Общеизвестны примеры усилительных процесов в фоторецепторных клетках, способных при поглощении единичного кванта развить макрореакцию с коэффициентом усиления, достигающим 10^6 [2]. Многочисленные факты, указывающие на возможность сигнальной роли ЭМП, приводятся в монографиях [18-22]. В серии работ [23] продемонстрировано наличие отчетливых избирательных реакций большой группы биологических объектов при облучении их ЭМП в диапазоне 6-8 мм с ярко выраженными максимумами реакций в области 7,2 и 7,6 мм. При изменении длины волны всего лишь на неоколько процентов эффект исчезает или меняет знак. Биологически значимые эффекты обнаружены на боль-

шом числе объектов, таких, как вирусы, бактерии, дрозофилы, клетки крови и костного мозга, развивающиеся змбрисны. Показанс, что реакция практически не занисит от дозы облучения (при изменении ее от 0,0I мВт/см^2 до I0 мВт/см^2, т.е. в пределах трех порядков) и определяется исключительно частотой. Эти наблюдения с несомненностью указывают на сигнальную природу наблюдаемых эффектов. В работах Фрелиха [24,25] сделана попытка объяснить данные о биологичебком усилении в миллиметровом диапазоне ЭМП на основе представлений с Бозе-конденсации фононов в мембране [24]. Физическим условием Бозе-конденсации в этой модели является требование "накачки" энергии в мембрану со скоростью, превышающей некоторое пороговое значение, т.е. существенно важные свойства мембраны в этой модели связаны с ее неравновесным состоянием.

Представление о наличии коллективных возбуждений в мембранах было подвергнуто сомнению [26]. По нашем мнению, безапелляционное суждение о невозможнсти коллективных возбуждений в биологических мембранах вряд ли допустимс. В частности, с большой осторожностью нужнс проводить аналогии между результатами изучения модельных мембран как систем существенно неравновесных и поведением мембран в живой клетке, являющейся устойчиво неравновесной системой.

В работах Э.С.Бауэра, опиравшегося на научные представления 30-х годов, есть указания на то, что основу устойчивого неравнсвесия следует искать в специфике молекулярной структуры живой материи и более конкретно в специфическом "растянутом" состоянии белка в живой клетке. Для концепции Бауэра в целом вопрос о конкретных структурно-энергетических механизмах устойчивого неравновесия не является принципиально важным, как, например, для термодинамики несущественны представления о молекулярном строении вещества. Тем не менее, целесообразно рассмотреть с современной точки зрения возможные физико-химические механизмы, лежащие в основе устойчиво неравновесного состояния живой материи.

Современная биофизика располагает достаточно широким спектром гипотез для разработки подходов к пониманию структурно-энергетических основ устойчивого неравновесия. К традиционным представлениям об АТФ как основном носителе избыточной свободной энергии, выновобождающейся при гидролизе, в настоящее время следует добавить еще целый ряд возможностей. Укажем в первую очередь на революционизировавшие биоэнергетику представления [27] об электрическом поле в мембранах клеток как унифицированной форме энергии, такой же универсальной, как энергия АТФ, и "объединяющей в общую энергосистему все тс множество отдельных электрических генераторов - комплексов окислительных ферментов и АТФаз, которые закреплены в различных участках сопрягающей мембраны", [27, с. I65]

Напряженность поля мембраны имеет порядок I0^5 В/см, так что встроенные в нее ферменты оказываются непременно "растянутыми" в электри -

ческом поле, что согласуется с представлениями Баузра. Избыточная свсбодная энергия заряженной мембраны достигает 100 Дж/см^3. Даже если учесть, что объем мембраны составляет лишь проценты ст общего объема клетки, вклад электрическсго поля в избыточную свободную энергию клетки оказывается весьма значительным.

Другим примером реализации устойчивого неравновесия на молекулярном уровне служит идея о "рекуперации энергии" в ферментах – процессе, в котором часть энергии, выделяющейся при ферментативной реакции, используется для поддержания специфического "активного" состояния молекулы фермента [28,29]. Эта идея нашла подтверждение в экспериментах по исследованию конформационно-неравновесных состояний ряда ферментов, связанных с системой переноса электрона [28]. Существенно, что переход фермента к равновесному состоянию, как показано в этих экспериментах, сопровсждается утратой способности к фосфорилированию субстрата.

Заслуживают также внимания представления о биологическом значении избыточной свободной энергии, связанной с перекисными процессами и свободными радикалами в биомембранах [30,31]. Хотя абсолютное значение вклада свободных радикалов в избыточную свободную энергию клетки может быть и невелико, регуляторнсе значение этих процессов весьма существенно. С позиций электромагнитобислогии особенно важнс поведение свсбодных радикалов в магнитном поле, связанное с химической поляризацией ядер [32, см. также т.2, гл.II,п.2.1] и электронов.

Более гипотетичны, но чрезвычайно интересны и перспективны, по нашему мнению, попытки подойти к пониманию природы устойчивого неравновесия с позиций физики твердого тела, рассматривая в качестве "субстрата" неравнсвесия коллективные возбуждения надмолекулярных систем, в первую очередь, клеточных мембран. Попытки такого рода пока еще очень немногочисленны [33–35], но уже привлекают внимание бислогов. Так идея о "вибронных" возбуждениях, возникающих в электронновырожденных системах, в которых выполняются условия теоремы Яна–Теллера [33,34], рассматривается как возможная основа для объяснения влияния магнитного поля на энергетику митохондрий [20]. Имеютоя также теоретические ссображения в пользу существования нелинейных коллективных возбуждений (уединенных волн, или "солитонов") в белковых субклеточных структурах [35].

Одной из основных задач биофизики является создание теории биологического усиления; вклад электромагнитобиолсгии в решение этсй проблемы трудно переоценить. В настоящее время наибольшее внимание уделяется процеосам, связанным с реакцией живой клетки и ее частей на сигналы химической природы. Данные в этой области опираются на многочисленные и разнообразные результаты нейрофизиологии [4], физиологии рецепторов [2], эндокринологии [3]. На основании этих данных получила широкое распространение концепция о существовании специфических белков-рецепторов, стереохимически соответствующих в строении своих участкcв структуре химического сигнала, т.е. спределенной моле-

куле, соединение которой с активным участком белка-рецептора приводит к его информативному преобразованию. Далее по современным представлениям включаются биохимические каскады усиления, приводящие к появлению в цитоплазме большого числа активных метаболитов и ионов или осуществляется генерализация сигнала за счет конформационных изменений в структурах клеточных мембран и связанных с ними структурах цитоскелета и гликокаликса, что приводит к наблюдаемой реакции клетки и организма.

При изучении процесса биологического усиления ЭМП ситуация еще сложнее, чем при изучении усилителей химических сигналов. Не исключено, что попытки выделить из живой клетки первичную рецепторную структуру могут оказаться безуспешными, если вмешательство экспериментатора, расчленяющего клетку, изменит условия, необходимые для самого существования изучаемой структуры. На трудность такого рода указывал Нильс Бор [36]. Достижения молекулярной биологии не только не устраняют этой трудности, но делают ее все более очевидной.

Обсуждая вопрос о значении идеи устойчивого неравновесия для современной электромагнитобиологии в связи с проблемой биологического усиления ЭМП, нельзя не коснуться вопроса о "митогенетическом излучении", обнаруженном А.Г.Гурвичем в 1923 г. и описанном в большом числе статей и монографий [37]. Близость идей Гурвича о "молекулярных констелляциях"[1], распад которых связан, по его представлению, с митогенетическим излучением, и идей Бауэра об устойчивом неравновесии отмечалась неоднократно [38-40]. А.Г.Гурвич всегда подчеркивал, что "молекулярные констелляции" являются существенно неравновесными образованиями, не способными существовать без притока энергии. Открытие Гурвича, по мнению В.В.Парина [38], - одно из крупнейших достижений советской теоретической биологии, и сам факт существования излучения, подтвержденный неоднократно в работах как отечественных [41,42], так и зарубежных [43] исследователей, является достоверным научным фактом.

Кроме работ А.Г.Гурвича и его школы, в качестве доказательства наличия биологического усиления сверхслабых УФ-излучений можно привести данные о действии единичных УФ-квантов при облучении жгутиконосцев [44], исследования "зеркально-цитопатического эффекта" [45], а также данные об усиливающих рост нехимических дистанционных взаимодействиях в культуре клеток [46,47].

Проблема биологического усиления теснейшим образом связана со способностью биологических систем избирательно реагировать на определенные параметры ЭМП, такие, как амплитуда, частота или, в более общем случае, форма кода или модуляции. Интересные экспериментальные данные

---

[1] "Молекулярные констелляции" по Гурвичу состоят из возбужденных молекул и, подчиняясь влиянию гипотетического "морфогенетического поля", образуют устойчивую структуру, которую можно сравнить, например, с колонной физкультурников или балетным ансамблем в противоположность "устойчиво равновесному" кристаллу или архитектурному ансамблю.

связаны с реакцией биологических систем на ЭМП и токи в диапазоне низких и инфранизких частот. Наличие автоколебательных режимов в устойчивс неравновесных системах позволяет понять их избирательную чувствительность с теоретической точки зрения. Необходимость таких режимов в биологических системах, вытекающая из весьма глубоких оснований, убедительнс показана А.М.Молчановым [48].

Для выяснения механизма избирательной чувствительности представляет интерес способность автоколебательных систем к захватыванию ритма и делению частоты внешнего стимула в целое число раз. Наличие эффектов захватывания и деления частоты при действии электрического тока на клетку было продемонстрировано [49] в экспериментах с ритмической стимуляцией через микроэлектрод изолированной нервной клетки (сенсорного нейрона рецептора растяжения речного рака). При стимуляции нейрона синусоидально изменяющимся током в диапазонах от 1,5 до 7 Гц и от 15 до 27 Гц наблюдалось резкое (более чем на два порядка) понижение порога возбуждения сравнительно с другими диапазонами, отчетливо наблюдалось явление захватывания ритма, а в прилегающих диапазонах наблюдался эффект деления частоты.

Интересно сопоставить эти данные с результатами работ [50-52], полученными при изучении нейрофизиологических и поведенческих реакций животных, подвергающихся действию СВЧ-полей, модулированных низкой частотой. Весьма демонстративные поведенческие эффекты, такие, как изменения реакции самораздражения и гипногенное действие модулированного СВЧ-излучения [52], связаны с частотами модуляции того же диапазона, что в экспериментах с одиночной нервной клеткой [49]. Это указывает, по-видимому, на особое значение указанного частотного диапазона и специфическую чувствительность нервных клеток к действию ЭМП этих частот.

В классической нейрофизиологии вопросы, связанные с полевым (электротоническим) взаимодействием нейронов, значительно менее разработаны, чем область, обусловленная электрохимическим (синаптическим) взаимодействием. В ряде работ [53-56] отмечается важная роль электротонических взаимодействий между клетками, которую необходимо учитывать при изучении механизмов их объединения в функциональные ансамбли, а также при исследовании процессов запоминания и воспроизведения информации в нейронных структурах.

В работах Эйди [56-58] продемонстрирована избирательная реакция нейронов головного мозга цыплят на ЭМП с частотами в диапазоне от 1 до 26 Гц. В экспериментах изучали как непосредственное влияние тока на структуру мозга, так и действие СВЧ-излучения, модулированного НЧ. Обнаружено избирательное повышение проводимости мозговой ткани, определяемое, по мнению автора, добавочным выделением в межклеточное пространство ионов Ca^{++}, которые в норме связаны "паутиной из гидратированных поверхностных макромолекул".

Избирательная чувствительность клеток к действию низкочастотных

МП [18-20], по-видимому, также связана с автоколебательными процессами. Захватывание частоты в этих случаях играет существенную роль. Отмечается особая роль диапазона 7-12 Гц, в котором лежат "шумановские резонансы" и короткопериодические пульсации ГМП. Отмечается, что близость частот этого диапазона к характерным частотам автоколебаний в нервной системе (в частности, к альфа-ритму) не случайна и, по-видимому, связана с тем, что вся эволюция биосферы протекала внутри гигантского конденсатора, одна из обкладок которого - ионосфера, а другая - поверхность земного шара.

Наличие в системе внутренних осцилляторов является, с одной стороны, необходимой предпосылкой возникновения устойчиво неравновесных систем, с другой - обеспечивает механизм их адаптации и эволюции. На основе уравнений, описывающих поведение систем нелинейных осцилляторов [59-61], становится возможным построение реалистических моделей ряда внутриклеточных и тканевых процессов, а также процессов на более высоких уровнях биологической организации. Дальнейшие усилия биофизиков, математиков, кибернетиков должны привести к созданию моделей, способных описать структуру функциональных уровней устойчивого неравновесия и предсказать закономерности переходов между ними [62,63]. Построение таких моделей имеет принципиальное значение для медицинских аспектов электромагнитобиологии, связанных с разработкой методов терапии и активации организма электромагнитным полем.

Удивительное сходство реакций различных биосистем (митохондрия, клетка, организм) при внесении возмущений в систему их энергообеспечения иллюстрирует тезис о качественном подобии реакции устойчиво неравновесных систем на различных уровнях биологической организации [64].

Другим подтверждением представлений о наличии в целостном организме иерархии уровней неравновесности служат закономерности развития неспецифических адаптационных реакций организма. Выбор дозированных воздействий для направленного перехода между уровнями неравновесности позволяет получить убедительный эффект как в эксперименте, так и в клинике [65].

Перспективным направлением для терапии и активации организма является использование ЭМП в качестве перспективно действующего фактора в рефлексотерапии, в таких современных модификациях древнего метода восточной медицины чжэнь-цзю-терапии (иглоукалывания), как электропунктура, лазеропунктура и магнитопунктура. При построении биофизических основ теории этих методов принцип устойчивого неравновесия должен учитываться, по нашему мнению, как основополагающий.

Изучение биофизических и кибернетических основ устойчивого неравновесия живых систем, исследование механизмов действия биологических усилителей и природы избирательной чувствительности живых систем к ЭМП, по существу, только начинается. Развитие исследований в этом направлении должно дать ценный материал как для теоретических обобщений, так и для прикладных разработок.

Литература

I. Коган А.Б., Наумов Н.П., Режабек Б.Г., Чоарян О.Г. Биологическая кибернетика. М.: Высш.школа, 1977. 408с.

2. Винников А.Я. Цитологические и молекулярные основы рецепции. М.: Наука, 1971. 298с.

3. Розен В.Б. Циторецепторы и чувствительность клетки к гормонам. - Мед.реф.журн., 1977, т.1, с.1-12.

4. Шаповалов А.И. Синаптическая передача возбуждения. - В кн. Общая и частная физиология нервной системы. Л.: Наука, 1969, с.73-104.

5. Бауэр Э.С. Теоретическая биология. Л.: ВИЭМ, 1935. 205с.

6. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир, 1973. 280с.

7. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. 512с.

8. Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физика. М.: Атомиздат, 1972. 88с.

9. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. Введение в теорию диссипативных структур. М.: Мир, 1979. 279с.

10. Synergetic. Far from equilibrium. Ed. H.Haken. B.Spring. verl. 1979. 197 s.

11. Насонов Д.Н. Местная реакция протоплазмы и распространяющееся возбуждение. М.;Л.: Изд-во АН СССР, изд.2-е, 1962. 426с.

12. Александров В.Я. Клетки, макромолекулы и температура. Л.: Наука, 1975. 329с.

13. Модели структурно-функциональной организации некоторых биологических систем /Под ред. И.М.Гельфанда , М.: Наука, 1966. 323с.

14. Конев С.В., Аксенцев С.Л., Черницкий С.А. Кооперативные переходы белков в клетках. Минск: Наука и техника, 1970. 202с.

15. Штеренберг М.И. О структурных вопросах биологической термодинамики - В кн.: Переходные процессы в биологических системах. М.: Ин-т биологии развития, 1977, с.34-40.

16. Жданов Ю.А. Пусковая причинность - Вопр.философии, 1976, №6, с.87-101.

17. Кремянский В.И. Структурные уровни живой материи. М.: Наука, 1969. 295с.

18. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 193с.

19. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 175 с.

20. Холодов Ю.А., Шишло М.А. Электромагнитные поля в нейрофизиологии. М.: Наука, 1979. 168 с.

21. Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.1 - 339 с.; т.2 - 207 с.

22.Реакция биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978. 224 с.
23.Девятков Н.Д. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона волн на биологические объекты. - Успехи физ.наук, 1973, т.110, № 3, с.453-456.
24.Фрелих Г. Когерентные возбуждения в биологических системах. - Биофизика, 1977, т.22, № 4, с.743-746.
25. Fröhlich H. The biological effect of microwaves and related questions. - Adv. electronic and eleotron phys., 1980, vol.53, p.85-152.
26.Лившиц М.А. К вспрооу об участии когерентных фононов в биологических процессах. - Биофизика, 1977, т.22, № 4, с.746-747.
27.Скулачев В.П. Трансформация энергии в биомембранах. М.: Наука, 1972. 208 с.
28.Блюменфельд Л.А. Проблемы биологической физики. М.: Наука, 1977. 335 с.
29.Кобозев Н.И. О механизме катализа. - ЖФХ, 1960, т.34, с.1443-1449.
30.Журавлев А.И. Сверхслабые свечения и антиокислительные свойства биоантиоксидантов: Автореф. дис.... д-ра биол. наук. М.: МГУ, 1965. 32 с.
31.Козлов Ю.П. Свободные радикалы и их роль в нормальных и патологических процессах. М.: Изд-во МГУ, 1973. 96 с.
32.Бучаченко А.Л., Сагдеев Р.З., Салихов К.М. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1978, 294 с.
33.Берсукер И.Б. Туннельные эффекты в многоатомных системах с электронным вырождением и псевдовырождением. - Успехи физ.наук, 1975, т.116, № 4, с.605-641.
34.Берсукер И.Б. Электронное строение и свойства координационных соединений. Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1976. 349 с.
35.Давыдов А.С. Квантовая теория сокращения мышц. - Биофизика, 1974, т.19, № 4, с.670-681.
36.Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 151 с.
37.Белоусов Л.В., Гурвич А.А., Залкинд С.Я и др. Александр Гаврилович Гурвич. М.: Наука, 1970. 201 с.
38.Гурвич А.А. Проблемы митогенетического излучения как аспект молекулярной биологии. Л.: Медицина, 1968, с.4-11.
39.Залкинд С.Я. История биологии с начала XX века до наших дней. М.: Наука, 1975. 316 с.
40.Вепринцев Б.Н. Очерк истории биофизики в нашей стране. - Биофизика, 1977, т.22, № 6, с.968-976.
41.Гурвич А.А., Еремеев В.Ф., Карабчиевский Ю.А. Энергетические сс-

новы митогенетического излучения и его регистрация на фотоэлектронных умножителях. М.: Медицина, 1974. 96 с.
42. Конев С.В., Троицкий Н.А., Катибников М.А. Хемилюминесценция дрожжевых клеток в видимой и ультрафиолетовой области спектра. - В кн.: Междунар. биохим. конгр. М.: Изд-во АН СССР, 1961, т.2, с.473-476.
43. Electromagnetic Bio-Information: Proc. of Symp. Marburg. München etc. 1979, 324 p.
44. Камшилов М.М. Ультрафиолетовое излучение и одноклеточные организмы. - В кн.: Лучистые факторы жизни водных организмов. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1967, с.43-45.
45. Казначеев В.П., Михайлова Л.П., Шурин С.П. Информационные взаимодействия в биологических системах, обусловленные электромагнитным излучением оптического диапазона. - В кн.: Прогресс биологической и медицинской кибернетики. М.: Медицина, 1974, с.314-339.
46. Мостовников В.А., Хохлов И.В. Взаимодействие клеток человека с помощью электромагнитных волн оптического диапазона. Минск: Ин-т биофизики АН БССР, Препр. 1977, 128 с.
47. Киркин А.Ф. Нехимические дистанционные взаимодействия между клетками в культуре. - Бисфизика, 1981, т.26, вып.5, с.839-843.
48. Молчанов А.М. Возможная роль колебательных процессов в эволюции.- В кн.: Колебательные процессы в биологических и химических системах. М.: Наука, 1967, с.291-302.
49. Коган А.Б., Режабек Б.Г., Васильева О.С. Нелинейное захватывание ритма при раздражении изолированной нейрорецепторной клетки.- ДАН СССР, 1973, т.210, № 2, с.493-495.
50. Судаков К.В., Антимонов Г.Д. Центральные механизмы действия электромагнитных полей. - Успехи физ.наук, 1973, т.42, № 2, с.101-135.
51. Антимонов Г.Д. Изменение реакции самораздражения у крыс при действии модулированного ЭМП. - Бюл. эксперим. биологии и медицины, 1976, т.10, с.1163-1165.
52. Судаков К.В., Антимонов Г.Д. О гипногенном действии модулированного электромагнитного поля. - Там же, 1977, т.8, с.924-938.
53. Русинов В.С. Доминанта: Электрофизиологические исследования. М.: Медицина, 1969. 231 с.
54. Голиков Н.В. Специализированные и неспециализированные механизмы межнейронных взаимодействий и формирование доминирующих констелляций нервных центров. - В кн.: Основные проблемы электрофизиологии головного мозга. М.: Наука, 1974, с.172-184.
55. Аладжалова Н.А. Медленные электрические процессы в головном мозге. М.: Наука, 1962. 240 с.
56. Эйди В.Р. Значение окружения клетки в осуществлении и накоплении информации. - В кн.: Проблемы нейрокибернетики. Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1972, с.268-279.
57. Эйди В.Р. Модели мембран мозговых клеток, как субстрата для хра-

нения информации. - Физиология человека, 1977, т.3, № 5, с.774-789.
58.Эйди В.Р. Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям.- Там же, 1975,т.1,№1, с.23-46.
59.Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическое моделирование в биофизике. М.: Наука, 1975. 343 с.
60.Рубин А.Б., Пытьева Н.Ф., Ризниченко Г.Ю. Кинетика биологических процессов. М.: Изд-во МГУ, 1977. 327 с.
61.Чернышев М.В. Резонансно-поисковые вычислительные методы анализа скрытых колебательных процессов в живых системах. - В кн.: Теоретические и прикладные аспекты анализа временной организации биосистем. М.: Наука, 1976, с.11-34.
62.Бутенин Н.В., Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. Введение в теорию нелинейных колебаний. М.: Наука, 1976. 384 с.
63.Емельянов С.В. Теория активных систем. - В кн.: Согласованное управление. М.: Ин-т проблем управления, 1975, с.24-32.
64.Кондрашова М.К. Норма и патология с позиций энергетики митохондрий. - В кн.:Биофизика сложных систем и радиационных нарушений. М.: Наука, 1977, с.249-270.
65.Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентность организма. 2-е изд. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1977. 126 с.

1.2. Реакции живых систем на слабые адекватные им воздействия

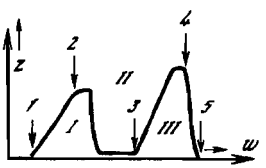
Организм - сложная иерархия систем, в которой ответы подсистем разных уровней на возрастающий стимул имеют фазный характер[1] и связаны сложным образом между собой. Это обеспечивает совершенство взаимодействия организма со средой и направлено на повышение выживаемости вида. Фазный ответ на возрастающий стимул дает каждая отдельная митохондрия, отдельная клеточная мембрана, отдельная клетка, отдельная клеточная популяция, отдельное нервное волокно, участок кожи, организм как целое, популяция организмов и более сложные открытые системы вплоть до биосферы [1-8].

Рис.1 [9,10] иллюстрирует типичное поведение сложной системы в ответ на возрастающий стимул. Все три случая, обобщенные на нем, характеризуются наличием "зоны ареактивности" (зоны бездействия), связанной с включением в работу компенсирующих "защитных" механизмов.

Любые внешние воздействия переводятся клеткой на универсальный язык изменений мембранных потенциалов. Величина этих изменений определяет переключение тех или иных процессов в клетке. Меняется и вы-

[1] Изменение характера ответа при увеличении интенсивности стимула.

ход метаболитов. Клетка переводит любую информацию сначала на электрический, а затем на химический язык [6]. В нервных окончаниях возникают серии электрических импульсов - рост параметрической части воздействия кодируется изменением частоты следования "потенциалов действия" по нерву. Наличие электрических и химических сигналов и их преобразования можно легко проследить на любых уровнях организации биологических систем. Во всех случаях перекодирование возможно лишь



Р и с. I. Фазовая реакция z сложной системы на возрастающий стимул w : I - зона чувствительности, II - зона бездействия, III - зона раздражительности; 1 - абсолютный порог чувствительности, 2 - порог включения компенсирующих систем, 3 - порог тотальной мобилизации, 4 - срыв, 5 - гибель. График построен по зависимостям реакции z от мощности адекватного стимула (по: [9]), от дозы микроэлемента (по: [5]) и по зависимости роста популяции от плотности обитания (по: [10]).

при наличии сложной организации, а сама организация обеспечивается работой кодирующих механизмов [11].

В функционирующей клетке многие виды молекул постоянно распадаются и вновь синтезируются, чем поддерживаются незатухающие колебания их концентраций [11]. Изменение характера и формы этой ритмики свидетельствует о тактике поиска самонастройки на наивыгоднейший режим работы в изменяющихся условиях. Такого рода автоколебания разной частоты наблюдаются на всех уровнях организации биосистем и носят названия биоритмов. Наличие колебательных процессов в системе приводит к тому, что результат воздействия на нее определяется не только и не столько интенсивностью и природой действующего стимула, сколько фазой и частотой, а также пространственным расположением источников, т.е. пространственно-временным кодом. Сложная система "резонансна" - наиболее чувствительна только к адекватным ей сигналам. В организме высших животных заложено множество биологических часов, ход которых через нервную систему синхронизируется внешней средой. Ранее скрытые нарушения нормальной работы организма проявляются прежде всего на сбое биоритмов. Выявление нарушений на ранней стадии позволит предотвращать развитие заболевания [12].

Тонус вегетативной системы человека и животных в значительной мере поддерживается множеством неощутимых раздражителей в форме ЭМП и

излучений различных частот. В опытах на животных показано, что как повышение, так и понижение уровня фоновых природных сигналов, характерных для данного сезона и местности, нарушает нормальную жизнедеятельность, воспринимается как сигнал тревоги. Такие "неощутимые" сигналы могут использоваться как условный раздражитель при выработке условных рефлексов. Так, был выработан сосудистый рефлекс у человека на сигнал 10^{-4}В/м на частоте 735 кГц после нескольких сочетаний с холодовым раздражителем [13].

Возможность адаптации рецепторной системы на прием повторяющегося сигнала малой интенсивности можно проиллюстрировать на инженерной схеме Флейшера [14]. Можно ожидать, что характеристики адаптивных фильтров организма подобраны так, что легче всего "схватываются" наиболее значимые сигналы. Естественно также предполагать, что внутренние сигналы, например идущие по нервам импульсы, выработаны по образу и подобию наиболее значимых сигналов внешней среды, т.е.что высшие организмы имитируют не только жидкую среду зарождения жизни, но и наиболее значимые сигналы среды обитания. Исследования по выработке условного "рефлекса избегания" у крыс в зависимости от параметров слабого электромагнитного сигнала [15] подтвердили это предположение. Реакция вырабатывалась легче всего на сигнал 300 имп/с при нарастании каждого импульса за $3 \cdot 10^{-8}$с и напряженности в импульсе 0,5–0,8 В/м (т.е. при среднем потоке мощности 10^{-11}Вт/см^2). Изменение напряженности на 1–2 порядка (в любую сторону) при постоянстве прочих параметров сигнала приводило к невозможности выработки рефлекса. К тому же результату приводило увеличение числа импульсов до 500 или уменьшение до 50 в секунду или изменение формы импульсов на прямоугольную. Условия эксперимента [15] – экспоненциальная форма, оптимальная энергия в импульсе с частотой повторения 300 имп/с-соответствуют параметрам сигнала, идущего по нервным путям от биологического рецептора. Физиотерапия для более эффективного воздействия на организм должна пользоваться "биологически проторенными, резонансными связями внешнего и внутреннего мира... что дает возможность пускать в ход сложнейшие регуляторные физиологические аппараты, выработанные в организме в бесчисленном ряду поколений" [16, с.967].

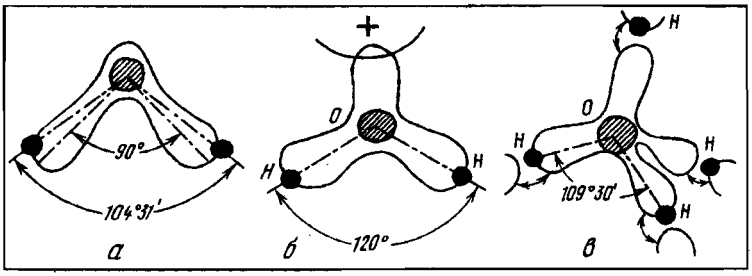
Интересно отметить, что оптимальная чувствительность крыс к адекватному электромагнитному сигналу энергетически совпадает с предельной чувствительностью органов зрения и слуха [9], а также с теоретической чувствительностью созданных человеком тепловых приемников, работающих без охлаждения. Не менее интересно отметить и то, что порог раздражимости отстоит от этого значения на 5 порядков (10^{-6}Вт/см^2) и совпадает с соответственно пересчитанной величиной основного обмена [9].

Ошибкой было бы, однако, считать, что специфическая чувствительность к слабым сигналам (например, к слабым ЭМП ИНЧ) в отсутствие

восприятия средних возмущений свойственна только живым организмам и имитирующим их техническим устройствам. Кривыми рис.I с равным успехом может быть описан ряд хорошо известных явлений молекулярного уровня. В 1924 г. В.Ханле [17] наблюдал в парах ртути деполяризацию резонансного излучения (253,7 нм), зависящую от величины внешнего МП. Эта зависимость наблюдалась только в полях порядка земного (или меньших) и исчезала в полях более сильных. Явление связано с расщеплением электронных уровней возбужденного атома, пропорциональным напряженности поля, и прецессией вокруг направления поля с частотой, соответствующей величине расщепления. Критическая величина МП, начиная с которой эффект исчезает, обусловлена временем τ возбужденного состояния атома. Чем больше τ, тем меньше значение критического поля $H_{кр}$. При $\tau = 10^{-8}$с $H_{кр}$ равно нескольким десяткам мТл. Используя метастабильные возбужденные состояния атомов, получают возможность измерения МП до 10^{-15}Тл [18]. Если у ядер атомов имеется магнитный момент, то они могут быть ориентированы в парах взаимодействием с магнитным моментом электронного происхождения, вызванным в слабом МП светом резонансной частоты. Той же степени ориентации ядер при комнатной температуре без освещения можно достичь лишь при напряженности МП больше 10 Тл. Описанная ориентация, таким образом, хорошо может быть представлена кривыми рис.I.

Естественно предположить, что ориентация атомов, связанная с зеемановским или штарковским расщеплением электронных уровней, может снижать ориентационную энтропию некоторых химических реакций и тем самым влиять на их относительные скорости и выходы. С таким случаем, по нашему мнению, столкнулись исследователи [19], наблюдавшие сезонные смещения выходов неких конкурирующих реакций. К настоящему времени накопился богатый материал о влиянии ЭМП на химические реакции в парах и растворах [20,21]. Поле при этом влияет, как правило, не на энергетику реакции, а на вероятность протекания тех или иных элементарных актов, особенно на вероятность реакций, протекающих через состояние с разной спиновой мультиплетностью при фотофизических и фотохимических процессах.

К существенному увеличению времени возбужденного состояния и к возрастанию чувствительности к слабым полям приводит возникновение кооперативных эффектов, при которых во взаимодействии с полем принимают участие несколько частиц, тесно взаимодействующих между собой и реагирующих как одно целое. Анализ кооперативности явлений открыл новые пути понимания ряда важнейших фотофизических и фотохимических процессов, оставшихся до сих пор неясными, таких, как миграция энергии, сенсибилизация люминесценции, фотосинтез, фоточувствительность и другие антистоксовские процессы [22,23]. Благодаря кооперативным эффектам система может долго сохраняться в неравновесных условиях, близких к срыву, что делает ее чувствительной к специ-



Р и с. 2. Перестройка орбиталей молекулы воды [25]
а - в парах, б - при координации к катиону, в - во льду

фическим малым воздействиям и создает условия "антистоксовской переработки" с высоким энергетическим выходом малых квантов в большие.

Существенно кооперативными системами являются водные среды организма, взаимодействующие с неорганическими ионами и биополимерами. Биологические системы - сложно организованные водные системы, поддерживающиеся за счет обмена веществ в неравновесном состоянии. Если пользоваться аналогией с эффектом Ханле, то обмен веществ заменяет облучение резонансной оптической частотой, а длительность возбужденного состояния обеспечивается кооперативными взаимодействиями. Все это создает предпосылки высокой чувствительности к очень слабым полям. Не случайно А.Сент-Дьерди указывал, что"биология, возможно, не преуспела до сих пор в понимании наиболее основных функций из-за того, что она концентрировала свое внимание только на веществе в виде частиц, отделяя их от двух матриц - воды и электромагнитного поля". [24, с.55].

Исключительные свойства водных систем обусловлены прежде всего большим дипольным моментом отдельной молекулы и спооообностью молекул воды образовывать кооперативные системы путем установления сети водородных связей. Входя в коллоиды атмосферы, в гидратные оболочки ионов, в капилляры и граничные слои, молекулы воды, изменяясь сами, определяющим образом влияют на свойства системы, в которой они участвуют [25].

На рис.2 дана схема перестроек геометрии молекулы воды при изменении ее окружения. Изменение гибридизации электронных орбиталей при этом связано только с перераопределением характеристик электронов, так как набор квантовых чисел - адиабатический инвариант. Перераспределение - процесс инерционный - определяется вероятностью сближения электронов. Время перестройки 10^{-6}- 10^{-7}с оценивается по интенсивности линий, относящихся к запрещенным межконфигурационным переходам [26]. Чрезвычайно важно, что время перестройки значительно больше времени "оседлой" жизни молекулы. Этот факт открывает воз-

можность четко представить механизмы ряда пока недостаточно ясных явлений, в частности, детали механизма воздействия слабых ИНЧ полей на водные системы.

Кооперативные взаимодействия ответственны, по-видимому, и за то, что каталитическое действие следов воды на химические реакции и фазовые переходы проявляется только в том случае, если давление паров воды достигает 10^{-5} мм рт.ст. Можно предполагать, что в реакциях с участием границы раздела и при фазовых переходах каталитическое действие осуществляется не отдельными молекулами, а островками"связанных гидроксилов" на поверхности. Фазовые переходы в этом слое способствуют преодолению потенциального барьера и появлению критического зародыша новой фазы на поверхности. Напомним, что скорость химической реакции даже при температуре жидкого азота на подложке, имеющей фазовый переход при этой температуре, может во много раз превосходить скорость реакции при 1000^{0} без катализатора. Ту же роль могут играть фазовые переходы в приграничной переходной водной фазе, если события развиваются в конденсированной водной среде. Сочетание неравновесности с высоким уровнем кооперативности приводит к тому, что время адаптации приповерхностной фазы к изменившимся обстоятельствам сильно возрастает [25].

Вода способна не только диссоциировать полярные вещества, давать отойкие комплексы и образовывать домены, обладающие большим дипольным моментом, но и формировать неполярные структуры, имеющие полости диаметром 0,5-0,6 нм. Такие структуры тем устойчивее, чем большая их доля заполнена молекулярными образованиями подходящих размеров.

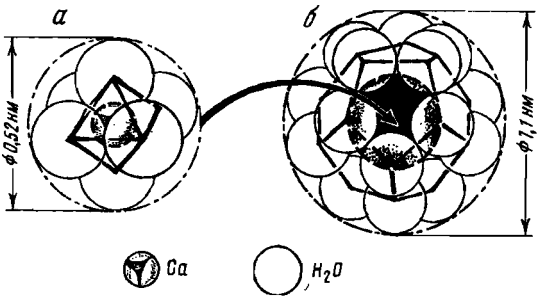
За последние годы все более ясной становится особая роль ионов кальция в управлении интимными механизмами биологических процессов [26 - 31]. Предложена новая гипотеза [26] о роли ионов кальция в реакции живых систем на слабые внешние воздействия (кальциевая гипотеза). Представляет интерес более подробно рассмотреть взаимодействие ионов с водой на примере кальция [25]. При взаимодействии с малым числом молекул воды ион кальция образует гексааквакомплекс:

$$Ca^{2+} + 6\ H_2O = \left[Ca(H_2O)_6\right]^{2+} + 151 \text{ ккал/моль}$$

Гексагональные орбитали комплекса строятся за счет донорно-акцепторной связи с использованием 6 электронов неподеленных пар ионов кислорода из молекул воды гидратной оболочки иона кальция. При взаимодействии с большим числом молекул воды, связанных между собой водородными связями, кальций наблюдается только в окружении четырех молекул воды, несмотря на то, что это, казалось бы, энергетически невыгодно:

$$Ca^{2+} + 4H_2O = Ca^{2+} \cdot 4H_2O - 50 \text{ ккал/моль.}$$

Выгодным такое окружение становится для системы, связанной водород-



Р и с. 3. Гексааквакомплекс кальция в клатратной водной структуре [25]

а – октаэдр $\left[Ca(H_2O)_6\right]^{2+}$;

б – додекаэдр $\left\{\left[Ca(H_2O)_6\right] \cdot 20 \cdot H_2O\right\}^{2+}$

ными связями, только при превышении ею критического размера, меньшего 400±200 молекул, – среднего мгновенного размера таких ассоциатов в воде [32]. Внешние воздействия – всплеск ЭМП, инфразвук, встряхивание, УФ-облучение, включение электрического или магнитного поля малой интенсивности, действуя прежде всего на неравновесные граничные слои, могут изменить размеры ассоциатов молекул воды. Может создаться обстановка, способствующая кинетической изоляции от общего объема воды иона кальция с несколькими молекулами воды на время, достаточное для перестройки электронных орбиталей и образования гексааквакомплекса кальция, который, способствуя образованию полости неполярных водных структур, стабилизирует их. Структуры же эти, хорошо вписываясь в структуру воды, могут сохраняться в ней благодаря стабилизации в течение нескольких часов (рис.3).

Появление метастабильных"больших ионов" активирует воду: они могут служить центрами кристаллизации в объеме жидкости, способствующими выпадению накипи в виде легко удаляемого шлама. Активированная таким образом вода может обладать и новыми биологическими свойствами за счет образования при распаде гексааквакомплексов свободных радикалов. Действительно, на начальных этапах распада комплекса вероятен уход от него H_2O^+ с задержкой электрона на октаэдрической орбитали с последующим образованием свободного радикала:

$$H_2O^+ + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + OH$$

(Появление радикалов доказывается полимеризацией акрилнитрила в активированной воде).

Не следует смешивать описанную выше мягкую активацию воды с жесткой активацией, происходящей, например, в условиях прогрева

при температуре, близкой к критической (373°) [33]. Жестко активированная вода без доступа кислорода долго сохраняет свои свойства, активную роль играют при этом, по-видимому, "открытые" димеры воды, возникающие при нарушении тетраэдрических структур и обеспечивающие повышенную растворяющую способность такой воды.

Мягкая активация воды должна оказывать специфическое влияние на водные среды организма, в которых изменение концентрации активных ионов кальция служит переключателем многих элементарных биологических процессов. Представление об этом [34] основывалось на множестве косвенных данных и только в последнее время получило прямое экспериментальное подтверждение в работах томских [35] и симферопольских [см. наст. кн., гл I, п.2.3] исследователей.

Многолетнее тщательное исследование [35] показало, что 25-кратное пропускание физиологического раствора со скоростью 1,5 м/с в постоянном поле 0,8 мТл снижает концентрацию активного кальция на 7% на листе элодеи, в нервно-мышечном препарате лягушки и в реакции сбраживания глюкозы дрожжеными грибками. Было сопоставлено [см. наст. кн., гл.II, п.2.6] влияние магнитной обработки и уменьшение концентрации кальция в растворе, используемом для перфузии изолированного сердца лягушки. Параметры применяемого поля были значительно ближе к геофизическим (частота 0,1 Гц, B≈4 нТл). Поле сказывалось и здесь как уменьшение концентрации активного кальция. Различие значения действующих полей связано с разным характером ответа живой системы (см. рис.1). В одном случае воздействия близки к порогу абсолютной чувствительности, в другом - к порогу раздражения. Подтверждение кальциевой гипотезы не означает, разумеется, что это единственный механизм возможных воздействий слабых полей.

Итак, в водных средах благодаря кооперативному эффекту установления и разрушения системы водородных связей постоянно возникают ассоциаты того или иного размера. Ассоциаты очень чувствительны к адекватным им слабым физическим воздействиям. Взаимодействие ионов с водой зависит от размера ассоциатов. Так, слабые возмущения влияют на гидратацию ионов и образование метастабильных структур. Изменение гидратации ионов меняет взаимодействие других молекул с водной средой, в частности ведет к конформационным переходам макромолекул, к кооперативным переключениям системы мембран, влияет на ферментные, свободнорадикальные и оперонные сиотемы управления живой клетки и тем самым на состояние и адаптационные изменения организма. Таким образом, характерным признаком сложных систем, в частности биологических систем всех уровней, является реакция на слабые управляющие сигналы, т.е. на слабые адекватные им воздействия.

Литература

I. Введенский Н.Е. Возбуждение, торможение и наркоз. - В кн.: Избр. произведения. М.: Медгиз, 1952, с.291-395.

2. Селье Г. На уровне целого организма. М.: Наука, 1972. 122 с.
3. Ухтомский А.А. Завещание Н.Е.Введенского. Собр.соч., т.2, Л.: Изд-во ЛГУ, 1951, с.148-151.
4. Насонов Д.Н., Александров В.Я. Реакция живого вещества на внешние воздействия. М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1940. 252 с.
5. Венчиков А.И. Биотики (к теории и практике применения микроэлементов). М.: Медгиз, 1962. 234 с.
6. Конев С.В., Аксенцев С.Л., Черницкий С.А. Кооперативные переходы белков в клетке. Минск: Наука и техника, 1970. 202 с.
7. Кондрашова М.Н. Регуляция дыхания митохондрий при усиливающемся воздействии на клетку. - Биофизика, 1970, т.15, с.312-323.
8. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентность организма. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1977. 120 с.
9. Плеханов Г.Ф. Электричество, магнетизм, информация и живые системы. - В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск: 1978, с. 3-8.
10. Soutwood T.R.E. Ertomology and mandkind.- Amer. Sci., 1977, v.65, p. 30-39.
11. Николаев Л.А. Основы физической химии биологических процессов. М.: Высшая школа, 1971. 240 с.
12. Парин В.В., Боевский Р.М. Важнейшие аспекты комплексных исследований процессов регуляции виоцеральных систем организма человека. - В кн.: В.В.Парин. Избр. тр. М.: Наука, 1974, т.2. с 343-358.
13. Плеханов Г.Ф., Ведюшкина В.В. Выработка сосудистого условного рефлекса у человека на изменение напряженности электромагнитного поля высокой частоты. - Журн. высш. нерв. деятельности им. И.П. Павлова, 1966, т.16, №1, с.34-37.
14. Лабутин В.К. Адаптация в биологии и технике. Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1970. 160 с.
15. Плеханов Г.Ф., Денисов В.Н., Мигалкин И.В. Оптимальные параметры магнитных и электрических полей, воспринимаемых организмами.- В кн.: Матер. 2-го Всесоюз. совещ. по изуч. влияния магн. полей на биол. объекты. М.: Наука, 1969, с.184-185.
16. Щербак А.Е. Биологическое значение резонанса (лекция 1925 г.). - В кн.: Изв.Гос.ин-та физических методов лечения им. И.М.Сеченова. Севастополь, 1927, т.1, с.964-976.
17. Феофилов П.П. Поляризационная люминесценция атомов, молекул и кристаллов. М.: Физматгиз, 1959. 288 с.
18. Александров Е.Б., Бонч-Бруевич А.М., Ходовой В.А. Возможности измерения малых магнитных полей методами оптической ориентации атомов. - Оптика и спектроскопия, 1967, т.23, №2, с.964-976.
19. Меликадзе Л.Д., Лекишвили Э.Г., Теодоришвили М.Н. О поливариантности реакции фотоконденсации алкилфенантреновых углеводоро-

дов с мелеиновым ангидридом. - Сообщ. АН ГССР, 1969, т.56, №2, с.317-320.

20.Бучаченко А.Л. Радиоизлучение и другие магнитные эффекты в химических реакциях. М.: Знание, 1979. 64 с.

21.Бучаченко А.Л., Сагдеев Р.З., Салихов К.М. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1978. 296 с.

22.Феофилов П.П. Кооперативные оптические явления в активированных кристаллах.-В кн.: Физика примесных центров в кристаллах. Таллин, 1972, с. 539-563.

23.Овсянкин В.В., Феофилов П.П. Кооперативная сенсибилизация фотофизических и фотохимических процессов. - В кн.: Молекулярная фотоника. Л.: Наука, 1970. с.86-106.

24.Сент-Дьерди А. Биоэнергетика. М.: Физматгиз, 1960. 155 с.

25.Кисловский Л.Д. Роль воды в лабильности поверхностных структур. - В кн.: Активная поверхность твердых тел. М.: ВИНИТИ, 1976, с.267-279.

26.Кисловский Л.Д. О возможном молекулярном механизме влияния солнечной активности на процессы в биосфере.-В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с. 147-164.

27.Парин В.В., Меерсон Ф.З. Значение новых представлений о роли кальция в мышечном сокращении для теоретической и клинической кардиологии. - В кн.: В.В.Парин. Избр. тр. М.: Наука, 1974, т.I, с.99-103.

28.Bawin S.M., Adey W.R. Sensitivity of Calcium binding in Ceberal Tissue to week environmental Electric Fields oscillating at low Frequensis, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1976, Vol.73, p. 1999-2003.

29. Rubin R.P. Calcium and Secretory Process, New Yorc-London, Plenym Press, 1974, 139 p.

30. Siegel F.L. Calcium-binding Proteins, in " Structure and Bonding", Berlin- Heidelberg, New York-Melburn-London, Springer Verlag, 1973, pp 221-263.

31.Carafoli E., Crompton M. Cacium Ions and Mitochondria, in "Calcium in Biological Sistems", ed. C.J.Duncan, Cambridge, London, New York, Melbourne, Cambridge University Press,1976, 89-115.

32.Лаврик И.Л., Наберухин Ю.И. Исследование структуры водных растворов неэлектролитов методами колебательной спектроскопии. - Журн. структур. химии, 1976, т.17, № 3, с. 466-463.

33.Летников Ф.А., Кащеева Т.В., Минцис А.Ш. Активированная вода. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. 134 с.

34.Кисловский Л.Д. О метастабильных структурах в водных растворах. - Докл. АН СССР, 1967, т.175, № 6, с.1277-1279.

35.Евдокимов Е.В., Карташев А.Г. Изменение биологической активности ионов кальция магнитным полем. - В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск: Изд-во Том.ун-та, 1978, с.40-53.

I.3. Кожный анализатор как возможный канал связи

В связи с тем, что круг задач, в которых может быть использован кожный канал связи, широк и многообразен, целесообразно использовать общий подход к исследованию кожного анализатора как канала передачи информации, предложенный одним из авторов [1]. При таком подходе предварительно производится оптимизация параметров входных сигналов на основе критериев оптимальности, определенных по психофизиологическим и информационным характеристикам кожного анализатора. В этом случае решение конкретных задач по использованию кожного канала связи сводится к выбору и проверке вида кода, для построения которого используются оптимальные входные сигналы. Предварительная оптимизация сигналов, пригодных для построения кода, может быть произведена по результатам исследования абсолютной и дифференциальной чувствительности кожного анализатора при предъявлении различных сигналов, а также особенностей протекания процессов сенсорной адаптации, отражающих основные ограничения, накладываемые природой канала на входные сигналы. Существенный интерес при исследовании канала связи любой природы представляют информационные характеристики, позволяющие согласовать вход канала с выходом информационной модели, преобразующей состояние управляемого объекта в совокупность стимулов, передаваемых по каналу.

Настоящая работа посвящена, в основном, выявлению по результатам исследования психофизиологических характеристик ограничений, позволяющих осуществить выбор входных сигналов электрокожного канала связи (ЭККС), надежно воспринимаемых оператором при выполнении требования комфортности. Наряду с этим приведены некоторые результаты исследования дифференциальной чувствительности и информационных характеристик кожного анализатора при воздействии на входе системы электрических сигналов.

Любой способ передачи информации по ЭККС базируется на характерных кожных ощущениях, что приводит к необходимости выделения сигналов, при предъявлении которых возникают ощущения, не приводящие к дискомфорту. Согласно результатам наших исследований, для электродов площадью порядка 10 $см^2$ требованию комфортности удовлетворяют шумоподобные сигналы (диапазон частот 0,02-20 кГц) и гармонические сигналы с частотой не менее 200 Гц. При изменении спектрального состава (предъявлении меандра) допустимый частотный диапазон расширяется в область низких частот, что связано с появлением в спектре сигнала значительного процента гармоник с частотами более 200 Гц; уменьшение площади электродов приводит к сдвигу допустимого частотного диапазона в сторону увеличения частоты.

Таблица I

Средние пороговые интенсивности гармонических сигналов для IO операторов

Площадь электродов, $см^2$	Параметр	Частота, кГц						
		0,02	0,06	0,I8	0,54	I,62	4,86	I4,58
порядка IO	напряжение, В	6,42 ±I,53	5,99 ±I,43	3,4I ±0,78	2,I3 ±0,48	I,53 ±0,38	I,54 ±0,48	2,68 ±0,93
	Ток, мА	0,37 ±0,I2	0,45 ±0,II	0,46 ±0,22	0,67 ±0,I7	I,07 ±0,35	2,43 ±0,8I	6,44 ±2,0I
I	Напряжение, В	8,5 ±2	8 ±I,8	8,2 ±I,8	8,6 ±I,6	7 ±I,4	5,7 ±I,3	5,7 ±I,4
	Ток, мА	0,I8 ±0,08	0,22 ±0,07	0,35 ±0,07	0,72 ±0,I3	I,37 ±0,3	2,82 ±0,65	6,9 ±I,93

Примечание. Доверительные интервалы соответствуют уровню значимости 0,05

При увеличении интенсивности любого электрического сигнала неизбежно возникают дискомфортные ощущения. Поэтому при использовании кожного анализатора для передачи информации оператору целесообразно выделить допустимый диапазон изменения интенсивности, определенный , например, как отношение интенсивности сигнала, вызывающего дискомфортные ощущения, к его пороговой интенсивности, соответствующей вероятности обнаружения сигнала, близкой к единице. Установлено [2], что при электрокожном предъявлении величина диапазона по интенсивности обычно оказывается в пределах 2-3 и практически не зависит от параметров сигнала на электродах (диапазон частот 0,02-20 кГц).

Чувствительность кожного анализатора при предъявлении гармонических сигналов частотнозависима (табл.1) [3], что необходимо учитывать при выборе параметров входного воздействия. При этом пороговый ток в диапазоне частот 0,02-20кГц является монотонно возрастающей функцией частоты, а зависимость порогового напряжения от частоты имеет минимум, положение которого на оси частот зависит от площади электродов. Ход пороговых кривых объясняется совокупным влиянием импеданса ткани и порога возбудимости нервных волокон [4]. Так, в частности, для площади электродов порядка IO $см^2$ пороговая кривая по напряжению гармонических сигналов до частот порядка I000 Гц формируется в основном под влиянием частотной зависимости импеданса ткани, а с ростом частоты предъявляемого сигнала все более решающую роль начинает играть понижение возбудимости нервных волокон.

Изменение формы сигнала на входе, что соответствует изменению его спектрального состава, приводит к изменению его пороговой интенсивности. В результате обобщения экспериментальных данных для различных сигналов установлено, что периодический знакопеременный сигнал без

постоянной составляющей достигает своей пороговой интенсивности, если кривая, отражающая зависимость $K_I = F(K_2, K_3, \ldots K_N)$, находится в области, границы которой определяются уравнениями [5]:

$$\sum_{i=1}^{N} K_i = 1, \qquad \sqrt{\sum_{i=1}^{N} K_i^2} = 1,$$

где $K_i = \frac{u_i}{u_{in}}$ – весовой коэффициент, u_i – амплитуда гармоники с частотой f_i негармонического сигнала, u_{in} – пороговая интенсивность гармонического сигнала с частотой f_i. Эти соотношения позволяют оценить пороговую интенсивность полигармонического сигнала, если известны его спектральный состав и частотная зависимость пороговой интенсивности для гармонического сигнала. В качестве примера можно привести результаты расчета возрастания эффективного порогового напряжения в области низких и средних частот при переходе от меандра к гармоническому сигналу для площади электродов порядка 10 $см^2$ [5]. Расчетным путем установлено, что такое изменение спектрального состава сигнала должно привести к возрастанию порогового напряжения для частоты сигнала 100 Гц в 1,27-2,41 раза, 1000 Гц – в 1,1-1,51, а для 4000 Гц – в 1-1,36 раза. Экспериментально полученные величины этого превышения (усредненные для 10 операторов) при доверительной вероятности 0,99 составляют: 100 Гц – 1,67±0,37; 1000 Гц – 1,35±0,22; 4000 Гц – 1,22±0,25 раза.

Следует отметить, что этот метод расчета для каждого конкретного случая требует предварительной оценки возможности использования спектрального подхода при анализе пороговых величин сигналов, степень проявления которых увеличивается при уменьшении частоты сигнала и площади электродов [6].

В случае импульсной стимуляции пороговые величины сигналов находятся в соответствии с известной зависимостью "сила – длительность". Экспериментально установлено, что при стимуляции одиночными и однополярными периодическими импульсами "главное полезное время" на кривой "сила – длительность" составляет 0,25±0,5 мс, а в случае заполнения импульсов шумоподобными сигналами его величина возрастает до 40,8±9,1 мс [7,8]. Критерий "главного полезного времени" показывает, что при выборе кода по длительности при условии сохранения постоянного уровня интенсивности сигнала минимальная длительность импульса должна превышать величину "главного полезного времени".

Небольшая величина диапазона по интенсивности, характерная для ЭККС, приводит к необходимости поиска сигналов, обладающих минимальной вариацией их пороговых интенсивностей во времени, так как изменение уровня чувствительности при фиксированной интенсивности предъявляемого сигнала на входе ЭККС может привести как к возникновению дискомфортных ощущений, так и к пропуску сигнала или нарушению распознавания предъявляемых сигналов ввиду известной зависимости величины дифференциальных порогов от исходной пороговой интенсивности

Таблица 2

Коэффициент вариации пороговых интенсивностей гармонических сигналов для интервала времени 2 недели (усреднено для 10 операторов)

Площадь электродов, $см^2$	Параметр	Частота, кГц						
		0,02	0,06	0,18	0,54	1,62	4,86	14,58
порядка 10	Напряжение, В	28,3 ±7,8	22 ±5,9	16,4 ±3,9	13,3 ±2,2	10,7 ±1,6	11,4 ±2,9	15,5 ±4,6
	Ток, мА	21,3 ±6	17,8 ±3,1	15,9 ±3,1	12,4 ±1,7	10,3 ±1,6	12,2 ±2,9	16,3 ±2,9
1	Напряжение, В	27,8 ±7,3	28 ±7,5	24,5 ±6,4	18,2 ±4	16 ±2,2	16,8 ±2	20,6 ±2,6
	Ток, мА	76,5 ±13,1	61 ±13	41,6 ±9,1	22 ±4,1	18,1 ±2,5	15,1 ±2,5	18,6 ±2,9

Примечание. Коэффициенты вариации выражены в процентах; доверительные интервалы соответствуют уровню значимости 0,05.

стимула [9]. Установлено, что минимальная вариабельность пороговых величин характерна для гармонических сигналов в диапазоне частот, ограниченном снизу и сверху частотами порядка 1 и 5 кГц (табл.2)[10]. Следует отметить, что в указанном частотном диапазоне по сравнению с низкочастотной областью существенно уменьшается также временная нестабильность полного межэлектродного сопротивления и минимизируется нестабильность угла сдвига фаз между напряжением и током [10]. Кроме того, этот частотный диапазон характеризуется уменьшением среднего порогового напряжения для группы операторов и индивидуального разброса пороговых величин сигналов (см.табл.1).

Детальный анализ экспериментальных данных для гармонического сигнала позволил установить, что регистрируемая частотная зависимость временной неотабильности пороговых величин (табл.2) формируется в результате комплексного влияния двух основных факторов: вариабельности чувствительности возбудимых структур и временной нестабильности электрических характеристик межэлектродной цепи.

В случае предъявления негармонических сигналов минимальной вариацией пороговых величин, сравнимой с минимальной вариацией пороговых величин, полученной для гармонических сигналов, обладают сигналы, спектральный состав которых удовлетворяет условию

$$\sum_{i=1}^{L} k_i \gg \sum_{j=1}^{M} k_j,$$

где k_i и k_j – весовые коэффициенты соответственно для гармоник оптимальных (в смысле минимальной вариабельности) и неоптимальных час-

тот. Примерами таких сигналов являются шумоподобные сигналы с равномерным спектром частот в диапазонах 0,25-3,5 и 0,02-20 кГц, а также применяемые рядом исследователей для кодирования информации последовательности коротких прямоугольных импульсов (длительностью менее I мс) с частотой следования менее I00 Гц [11-14]. Выявленные закономерности зависимости временной нестабильности пороговых величин от спектрального состава предъявляемых сигналов, а также величины, характеризующие эту нестабильность, сохраняются для всех исходных интенсивностей сигнала в пределах диапазона по интенсивности. Анализ результатов исследования нестабильности пороговых величин для различных сигналов показал, что рассмотренный выше спектральный подход может быть использован не только для оценки пороговой интенсивности полигармонических сигналов, но и для оценки временной нестабильности этой интенсивности. В последнем случае предполагаются известными спектральный состав исследуемого сигнала и частотные зависимости порговых величин и их неотабильности для гармонических сигналов.

Известно, что длительное предъявление сигнала любой модальности сопровождается явлением адаптации. Это в свою очередь накладывает ограничения на сигналы, используемые для передачи информации, и методы их предъявления. Косвенная оценка влияния адаптации на чувствительность показала, что при непрерывной стимуляции периодическими сигналами с частотой следования 0,02-I5 кГц (меандр, гармонический сигнал) для сохранения исходного уровня ощущения оператор вынужден увеличивать со временем интенсивность сигнала по закону, близкому к логарифмическому [15]. Получено, например, что при десятиминутном предъявлении электрических сигналов необходимое для сохранения исходной интенсивности ощущения изменение пороговых величин сигналов описывается эмпирической формулой:

$$\frac{u_t}{u_{10}} = \frac{1-\gamma}{\varsigma} \lg t + \frac{\gamma}{\varsigma} - \frac{1-\varsigma}{\varsigma},$$

где u_t и u_{10} - текущая и достигнутая к концу десятиминутного периода электростимуляции рабочие интенсивности сигнала, t - время предъявления в минутах, большее 0,33 мин; $\varsigma = (1 - \lg 0{,}33)$- константа, γ - параметр, зависящий от условий электростимуляции (табл.3). В частности, при непрерывном предъявлении гармонического сигнала и меандра величина γ определяется, в основном, частотой следования сигнала.

Установлено, что влияние процессов адаптации на чувствительность может быть уменьшено путем временной [15] или пространственно-временной дискретизации сигнала (табл.3); примером последней является предъявление шумоподобных или амплитудно-модулированных сигналов [16]. Для случая временной дискретизации сигнала (импульсная модуляция) в результате модельных исследований установлено, что в зависимости от разрешающей способности сенсорной системы необходимая длительность паузы

Таблица 3

Граничные величины γ в зависимости от параметров предъявляемого сигнала

Граница	Способ предъявления								
	Непрерывный					Д1		Д2	
	Гармонический		Шумоподобный			Гармонический			
	Частота кГц								
	0,02	I,62	I4,58	0,02-20	0,25-3,5	0,I8	I4,58	0,I8	I4,58
Верхняя	0,94	0,68	0,67	0,98	I	I	0,9I	I	0,98
Нижняя	0,64	0,49	0,43	0,84	0,86	0,89	0,72	0,93	0,86

Примечания. Величина γ определена по экспериментальным данным для II операторов; Д1 и Д2 – дискретное предъявление с равными между собой длительностями посылки и паузы 0,3 и 0,6 с.

t_n при заданной длительности посылки τ определяется по одному из выражений:

$$(t_n)_1 = \frac{\tau}{1-\tau}(1+\tau_0),$$

$$(t_n)_2 = \frac{A\tau}{B+C\tau},$$

где τ_0 – базовая длительность, соответствующая равным между собой длительностям посылки и паузы, при которых отсутствуют изменения чувствительности; $A = t^*_{n1} t^*_{n2} (\tau_1 - \tau_2)$; $B = \tau_1 \tau_2 (t^*_{n1} - t^*_{n2})$; $C = t^*_{n2}\tau_1 - t^*_{n1}\tau_2$; где t^*_{n1} и t^*_{n2} – известные из эксперимента критические длительности пауз, соответствующие длительностям посылки τ_1 и τ_2, характеризующиеся отсутствием изменения чувствительности. В конечном итоге полученные зависимости пороговых значений от длительности стимуляции и оценка применительно к конкретной задаче различных способов уменьшения влияния адаптационных свойств (импульсная и амплитудная модуляция, использование шумоподобных сигналов) позволяют производить объективный выбор способов предъявления непрерывных потоков информации в человеко-машинных системах, использующих ЭККС.

Рассмотрим некоторые особенности выбора элементов кода при использовании ЭККС. Дифференциальные характеристики кожного анализатора позволяют определить предельное число различимых градаций параметров сигнала, которые, однако, непосредственно не могут быть ис-

пользованы для формирования элементов кода. Чтобы решить этот вопрос, вводится понятие оперативного порога, который в несколько раз превышает дифференциальный [17]. В конечном итоге после обучения на распознавание выбирается конкретное число различимых градаций параметров стимула. Так, например, для параметра интенсивности электрического стимула, исходя из величины диапазона по интенсивности и дифференциальной чувствительности кожного анализатора, число возможных различимых градаций составляет примерно 8-14. Однако для построения кода используются обычно 2 градации интенсивности [18,19]. Аналогичная ситуация складывается и при выборе элементов кода по длительности [18,19]. Интересно отметить возможности частотного кодирования информации [8,11,15], применение которого, как показали наши исследования, возможно и при наличии на входе ЭККС аддитивного шума пороговой интенсивности [8]. Экспериментально получено, что отношение порогового сигнала к шуму принимает значения, меньшие единицы для гармонических сигналов в диапазоне частот 800-1500 Гц [8,20]. Выделение в качестве элементов кода двух частотных градаций (500 и 1500 Гц) приводит к тому, что их правильное распознавание сохраняется и при соотношении сигнала к шуму порядка единицы.

Необходимость согласования входа ЭККС с выходом информационной модели требует оценки как количества передаваемой информации по сенсорному каналу связи, так и максимальной скорости ее передачи. Применимость информационных оценок не вызывает сомнения при анализе актов идентификации, опознания, реакций выбора, т.е. таких экспериментальных методов, в которых оператор ставится в ситуацию выбора в случае знания полного алфавита стимулов [17]. Способность системы хранить и передавать информацию характеризуется информационной емкостью. Информационная емкость кожного канала составляет 2,84 бит, слухового - 2,5 бит, зрительного - 3,25 бит. Такое положение вытекает из биологических особенностей анализаторных систем человека [21]. Так Дж.Миллер [22] установил, что при идентификации одномерных стимулов возможность человека передавать информацию определяется величиной от 1,6 до 3,9 бит, и объяснил это тем, что число точно идентифицируемых альтернатив независимо от модальности стимула составляет 7 ± 2. Оценка скорости передачи информации по ЭККС на сенсорном уровне (с учетом времени реакции оператора) показала, что эта величина имеет порядок 0,8-1,3 бит/с при вероятности правильного опознавания сигналов большей 0,96 [8,23]. Оценка минимального времени предъявления сигналов, при котором еще сохраняется их правильная идентификация, приводит к представлению о том, что пропускная способность ЭККС на сенсорном уровне составляет около 10 бит/с [8,23]. Аналогичные эксперименты, проведенные при наличии на входе ЭККС аддитивного шума пороговой интенсивности, показали, что вероятность правильного распознавания по частоте сохраняется, причем величина минимального времени предъявле-

ния имеет тот же порядок, что и при распознавании сигналов в отсутствие шума [8].

В заключение следует сказать, что пороговые, дифференциальные и адаптационные характеристики взаимосвязаны и, выступая в единстве, характеризуют процесс восприятия [17]. Таким образом, анализ результатов исследования абсолютной чувствительности кожного анализатора, ее временной нестабильности и процессов сенсорной адаптации позволил выявить ограничения для входных сигналов ЭКС. Учет этих ограничений необходим при разработке любых кодов, так как позволяет повысить надежность обнаружения сигналов при соблюдении требования комфортности. Проверка целесообразности применения предложенных критериев выбора сигналов проводилась на примере задачи компенсаторного слежения [15]. В данном случае использование критерия минимальной нестабильности и введение дискретизации входного сигнала для уменьшения влияния адаптационных свойств на чувствительность кожного анализатора позволили повысить точность компенсаторного отслеживания при частотном кодировании информации.

Литература

1. Ярошенко А.А. Общий подход к исследованиям кожного анализатора как канала связи. - В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск: Изд-во Том.ун-та, 1978, с.75-79.
2. Коновалова Л.М., Ярошенко А.А. Исследование диапазона интенсивности для сигналов разной формы при электрокожной стимуляции. - В кн.: Матер. Первой конф. молодых ученых. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1974, вып.2, с.32-33.
3. Ярошенко А.А. Пороги электрокожной чувствительности человека при разной форме сигналов. - Тр. СФТИ, 1973, вып. 64, с. 264-287.
4. Ярошенко А.А., Мигалкин И.В., Коновалова Л.М. Моделирование некоторых закономерностей электрокожной чувствительности человека. - Бионика-73. М., 1973, т.2, с.266-269.
5. Ярошенко А.А., Коновалова Л.М. Исследование входных характеристик электрокожного канала человека. - В кн.: УI конф. по теории кодирования и передачи информации. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1975, ч.4, с.133-136.
6. Biegelmeier G., Rötter K. Elektrische Wiederstände und Ströme in menschlichen Körper.-Elektrotechn. und Maschinenbau, 1971. Bd.88, N 3, s.104-114.
7. Ярошенко А.А., Коновалова Л.М. Зависимость пороговой электрокожной чувствительности от длительности и частоты следования импульсов. - В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1978, с.86-92.
8. Ярошенко А.А., Тарасенко Ф.П. О передаче информации по электро-

кожному каналу человека. - В кн.: УI конф. по теории кодирования и передачи информации. Томск: Изд-во Том. ун-та, I975, ч.4, с.I28-I32.

9. Pfeiffer E.A. Electrical stimulation of sensory nerves with skin electrodes for research, diagnosis, communication and behavioral conditioning: a survey. - Med. and Biol. Eng., I968, No.6,p.637-65I

IO.Коновалова Л.М., Ярошенко А.А. Об одном критерии выбора оптимальных параметров сигнала. - В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск: Изд-во Том. ун-та, I979, вып.2, с.I48-I6I.

II.Линецкий М.Л., Закарлюка Ж.Д. Физиологические основы построения электрической обратной связи для "очувствления" биоэлектрического протеза предплечья. - В кн.: Нейробионика. Киев: Наук. думка, I970, с.75-82.

I2. Foulke E. Communication by electrical stimulation of the skin. - Res. Bull. Amer. Foundat. Blind, I968, No.I7, p.I3I-I40.

I3. Melen R.D., Meindl J.D. Electrocutaneous stimulation in a reading aid for the blind. - IEEE Trans. Bio-Med. Eng., I97I, vol.I8, No.I, p.I-3.

I4. Schori T.R. Tracking performance as a function of precision of electrocutaneous feedback information. - Hum. Fact. I970, vol.I2, No.5, p.447-452.

I5.Ярошенко А.А., Коновалова Л.М. Некоторые особенности кодирования информации при электрическом раздражении кожи. - Физиология человека, I978, т.4, №2, с.284-289.

I6.Тарасенко Ф.П., Ярошенко А.А., Коновалова Л.М. Кожный анализатор как канал связи. - В кн.: Реф. докл. II Междунар. конф. стран - членов СЭВ по основным проблемам бионики: Бионика-78. М.;Л.; I978, т.2, с.7I-73.

I7.Ломов Б.Ф. Человек и техника. М.: Сов. радио, I966. 464 с.

I8. Alluisi E.A., Morgan E.B., Hawkes G.R. Masking of cutaneous sensation in multiple stimulus presentation. - Percept. and Mot. Skills . I965, No.20, p.39-43.

I9. Foulke E., Coates D., Alluisi E.A. Decoding of electrocutaneous signals; effects of dimensionality on rates of information transmission. - Ibid., I966, No.I, p.295-302.

20.Ярошенко А.А. Использование электрокожного канала связи человека-оператора для передачи сигналов на фоне помех.- В кн.: Проблемы кибернетики. Томск: Изд-во Том. ун-та, I973, вып.64, с.278-283.

2I.Волошинова Б.Б., Жигалова Л.Ф., Твильнева Г.К., Фаткин Л.В. Попытка использования электрического раздражения кожного анализатора для передачи информации человеку-оператору. - В кн.: Проблемы инженерной психологии. М.: Наука, I968, вып.2, с.30I-307.

22.Миллер Дж. Магическое число семь плюс или минус два. О некоторых

пределах нашей способности перерабатывать информацию. – В кн.: Инженерная психология. М.: Прогресс, 1964, с.192-225.
23. Ярошенко А.А. Информационные характеристики кожного анализатора человека. – В кн.: Математическая статистика и ее приложения. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1980, вып.6, с.165-170.

1.4. Об электромагниторецепции

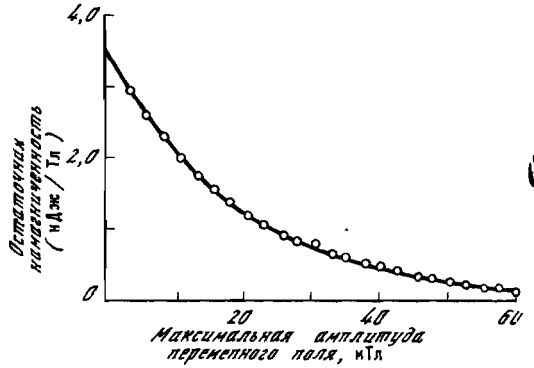
Несмотря на значительное число экспериментальных исследований, до настоящего времени не выявлены рецепторы, ответственные за субсенсорное восприятие неионизирующих излучений, что является препятствием для признания этих излучений как физиологических раздражителей [1]. Тем не менее, существует значительное число экспериментальных данных, свидетельствующих о том, что не только поведенческие реакции организмов [1-7], но и их структурные компоненты откликаются на изменение электромагнитного окружения, в том числе электромагнитной гелиогеофизической ситуации [8-13]. Одним из проявлений такого отклика является ритмика биологических процессов как на уровне биосферы в целом, так и на организменном и клеточном уровнях [14-15].

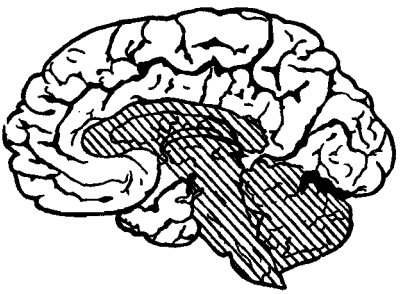
Как одно из гипотетических магниторецепторных восприятий биосистемами неионизирующих излучений принимается термоэффект со всеми вытекающими последствиями [16], однако термоэлектромагнитные рецепторы в организмах до настоящего времени не обнаружены. В то же время в различных организмах обнаружен биогенный магнетит [4,17,18], который, являясь основой электромагниторецепторов как ферримагнетик и хороший проводник электричества, может быть ответственным за эффекты, вызываемые воздействием электромагнитных полей и излучений [19]. Достоверно установлено, что биогенный магнетит является компасом животных, а у пчел одновременно служит хронометром.

Наличие магнетита в надпочечниках (рис.4) и в древних участках мозга (рис.5), выяснение его функций может пролить свет на причину реакции нервной системы на ЭМП.

Изотермическая остаточная намагниченность надпочечников человека (рис.4) в амагнитном окружении составляет $3,4 \cdot 10^{-9}$ Дж/Тл; такую намагниченность могут дать $7,4 \cdot 10^{-8}$ г однодоменного магнетита. Размагничивание приводит примерно к экспоненциальной зависимости остаточной намагниченности от максимальной амплитуды переменного поля. Контрольные образцы тканей (мозг голубя, почки человека) имеют остаточную намагниченность, по крайней мере ниже уровня чувствительности магнитометра, т.е. 10^{-11} Дж/Тл [4].

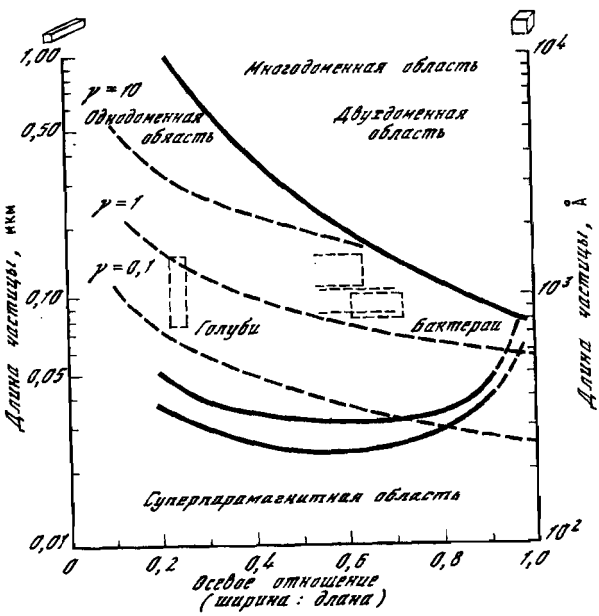
Ткань мозга макак резус (рис.5) имеет рассеянную изотермическую остаточную намагниченность насыщения около 25 пТл, что может свидетельствовать о наличии от 1 до 5 млн однодоменных кристаллов магнетита на 1 г вещества. Наблюдается устойчивая анатомическая локализация





Р и с. 4. Ферримагнитная остаточная намагниченность надпочечников человека /4/

Р и с. 5. Ферримагнитный материал (заштрихованная область) в ткани мозга макак резус /4/



Р и с. 6. Диаграмма магнитной стабильности зерен магнетита /I7/

Сплошные кривые – – границы перехода от двухдоменной к однодоменной области (верхняя кривая) и от однодоменной к суперпарамагнитной области (нижние кривые, между которыми располагаются частицы с постоянной времени перемагничивания от 4×10^9 лет до I00 с), штриховые кривые – значения равной энергии в геомагнитном поле B (B≃ 0,05 мТл) при комнатной температуре, $\gamma = (\vec{m}\vec{B})/kT$, соответствующие равным объемам зерна, при γ= 0,I; I; I0

намагниченности в древних участках мозга макак резус (возможно, человека /20/) и ее отсутствие в более молодой коре головного мозга, что подтверждает биогенное происхождение ферримагнитного материала. Отсутствие магнетита в молодых, более современных структурах мозга можно расценивать как показатель того, что, возможно, на определенном этапе эволюции создались условия, которые стимулировали развитие второй сигнальной системы как средства общения, в связи с чем электромагнитрецепторный аппарат перешел на субсенсорный уровень. Альтернативой такой постановки вопроса может служить утверждение, что электромагнитная рецепция развилась у человека, обезьян, дельфинов и др. животных под влиянием все более усиливающегося воздействия ЭМП и находится на эволюционном пути развития от несенсорной к сенсорной рецепции.

Наличие биогенного магнетита в организмах позволяет независимыми методами оценивать чувствительность электромагниторецепторов различной структуры. Такая оценка произведена американскими учеными Дж. Л. Киршвинком и Дж. Л. Гоулдом /17/ на основе изучения поведенческих эффектов в магнитных и геомагнитных полях, анализа результатов экспериментов, использования диаграммы стабильности изолированных прямоугольных параллелепипедов магнетита (рис.6), препарирования различных организмов: голубей, тунцов, пчел, пчелиных куколок, бактерий.

Установлено следующее /17/.

I. Бактерии, акулы, медоносные пчелы, голуби, обладающие хомингом, и другие организмы широкого филетического спектра способны определять направление ГМП. Косвенные, но воспроизводимые данные свидетельствуют о том, что пчелы и птицы могут реагировать также на незначительные изменения его напряженности. Механизмы, лежащие в основе такой чувствительности, неизвестны. Чувствительность пчел оценивается величиной I-I0 нТл или 0,I-I нТл/мин. В отсутствие других ориентиров пчелы согласуют свои циркадные ритмы с суточными вариациями напряженности ГМП в 50-I00 нТл. Голуби, обладающие хомингом, демонстрируют более очевидные реакции на ГМП, чем пчелы, поскольку поле магнитного бруска или пары соленоидов, прикрепленных к голове голубей, в пасмурные дни совершенно нарушают их ориентацию. В солнечные дни выпущенные на волю в районах магнитных аномалий голуби демонстрируют явно выраженные поведенческие эффекты при изменениях поля на 40 нТл/км в направлении полета к дому.

2. Данные о поведении животных, обитающих на суше, служат доводами против индукционного механизма их магниточувствительности.

3. Природный магнетик - биологически синтезированный магнетит Fe_3O_4, обнаружен в моллюсках-хитонах, магниточувствительных бактериях, рабочих пчелах, голубях, обладающих хомингом, дельфинах и тунцах. Его минерализация в определенных областях организмов может быть связана со способностью животных реагировать на направление и напряженность ГМП. Обычные парамагнитные взаимодействия, даже вследствие

сильных локальных МП и градиентов вблизи зерен магнетита, не могут быть убедительной причиной наблюдаемых биологических эффектов.

4. Слабая, но воспроизводимая ферримагнитная остаточная намагниченность обнаружена в органах латеральной линии акул, надпсчечниках человека (см. рис.4), мозжечке, среднем мозге и мозолистом теле макак резус (см. рис.5) [4]. К магниточувствительным животным относятся также пещерные саламандры и тритоны. Ферримагнитные преобразователи, связанные с нервной системой, могут позволить даже оседлым или медленно передвигающимся организмам, обитающим на суше, определять слабые изменения направления или напряженности локального МП, по крайней мере таких малых величин, как те, которые чувствуют обладающие хомингом голуои и пчелы. Биогенный магнетит магнитотектитных бактерий используется ими как компас в их стремлении двигаться вглубь водоемов в отсутствие градиента окислительно-восстановительного потенциала.

5. Органический магнетит является обычной биологической компонентой и причиной реэультатов многочисленных экспериментов на животных с применением полей высокой напряженности и электромагнитных излучений. Предположением, что органический магнетит может служить для других целей в биологических системах, помимо магниторецепторных, можно объяснить многие наблюдаемые пагубные эффекты сильных МП [4,17].

6. Наличие большого числа ($\sim 10^8$) суперпарамагнитных и однодоменных магнетитовых зерен у голубей (см. рис.6) наводит на мысль о существовании, по меньшей мере, двух основных типов ферримагнитных магниторецепторных органелл.

7. Теоретические расчеты показывают, что наличие таких ферримагнитных органелл с любым из этих типов зерен, объединенных нервной системой, может объяснить даже крайне высокую известную чувствительность к МП. При детектировании МП при помощи однодоменных или суперпарамагнитных зерен магнетита, обнаруженных у магниточувствительных животных, энергия взаимодействия между зернами магнетита и энергия ориентации превышает кТ, и поэтому может служить преобразователем между МП и нервной системой. Возможна такая структура магнитного детектирования, которая отслеживает общую напряженность ГМП без учета направления вектора. Такая система может служить частью "картографического" чувства голубей, обладающих хомингом, и мигрирующих животных, которая обеспечивает точную информацию о местонахождении в пределах нескольких километров. Возможна также структура, обеспечивающая определение вектора напряженности МП. Задача дальнейших исследований - уточнить функции магниторецепторного механизма.

8. Биогенный магнетит может иметь разнообразное промышленное применение, поскольку организмы, например магниточувствительные бактерии, в которых синтезируется магнетит, могут управлять размером и формой своих магнитных кристаллов.

Формирование зуба хитона начинается с образования сотообразной

структуры органического материала, которая затем наполняется трехвалентным железом, входящим в состав минерала ферригидрита - ядра размером около 6 нм макромалекулы ферритина, поставляющего ферригидрит в зону минерализации [17]. В результате неизвестного процесса в этой зоне ферригидрит быстро восстанавливается до магнетита за несколько дней до появления зуба в области перетирания пищи и образует скопление кристаллов, размером примерно 0,1 мкм, изолированных друг от друга тонкими перегородками из органического материала толщиной около 20 нм. В зависимости от биологического вида хитона кристаллы могут быть суперпарамагнитными, однодоменными или многодоменными, почти всегда гексагональной формы или в виде прямоугольных параллелепипедов. Магниточувствительные бактерии образуют одну или две цепочки почти одинаковых однодоменных кристаллов магнетита [4].

Дж.Л.Киршвинк и Дж.Л.Гоулд [17] рассмотрели несколько моделей магниторецепторов - простых устройств-преобразователей, которые могут управлять необходимой деполяризацией мембраны сенсорного нерва. Установлено, что для определения магнитных направлений стран света (компаса) достаточно нескольких сотен кристаллов магнетита; при объединении десятков и сотен миллионов зерен реально восприятие очень слабых полей.

Магнитные свойства ферромагнитного материала [22], в котором имеется упорядоченное множество параллельных атомных моментов октаэдрического Fe^{2+} во всей кристаллической решетке, состоящей из тетраэдрических и октаэдрических позиций, находятся в прямой зависимости от размера и формы кристаллов (см. рис.6). Зерна, расположенные в однодоменных и суперпарамагнитных областях диаграммы, имеют однородную структуру параллельных магнитных моментов Fe^{2+} во всем объеме частиц. Эти зерна всегда намагничены до полного магнитного насыщения J_s равного 48 мТл. Однородно намагниченные частицы в объеме V ($см^3$) будут создавать магнитный момент $\vec{m} = VJ_s$. В однодоменных зернах направление намагниченности чрезвычайно устойчиво, в зернах меньших размеров - суперпарамагнитных - тепловая активация изменяет направленность остаточной намагниченности и моменты каждого зерна имеют тенденцию распределяться случайным образом или выстраиваться преимущественно в направлении локальных МП в прямой зависимости от их напряженности. При таких суперпарамагнитных свойствах направление намагниченности неподвижного зерна может меняться.

Характеристическое время релаксации τ [17], необходимое для спонтанного изменения направления намагниченности отдельного домена, пропорционально величине: $\tau \sim exp(VJ_s \cdot H_c / kT)$, где H_c-микроскопическая коэрцитивная сила, k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура. Граница между областью стабильности отдельного домена и суперпарамагнитной областью (см. рис.6) зависит как от температуры, так и от размера и формы зерна. Выше критического объема однодоменное состояние уже нестабильно и моменты атомов не будут самостоятельно рас-

полагаться взаимно параллельно во всей частице; будут формироваться конфигурации из двух или более доменов с более слабым внешним МП (мультидоменное состояние). Почти весь биогенный магнетит, как установлено, либо однодоменный, либо суперпарамагнитный. Кристалл магнетита однодоменного размера самопроизвольно намагничивается до полного насыщения (48 мТл). Направление остаточной намагниченности полностью определяется внешним полем в момент намагничивания и формой частицы.

Биогенный магнетит встречается в малых количествах за исключением зубов хитона и в ряде случаев тонко рассеян в биологической ткани. Биогенное происхождение магнетита животных подтверждено препарированием пчел на разных стадиях развития в амагнитной обстановке с использованием сквид-магнитометров, чувствительностью 10^{-11} Дж/Тл и специальных хирургических инструментов. Установлено, что магнетит синтезируется у пчел в передней области брюшка за день до выхода пчелы из куколки. По мнению Дж.Л.Киршвинка [17], тяжелые зерна магнетита могут участвовать в рецепторной системе, реагирующей на гравитационное поле.

Чтобы функционировать как магниторецепторы, ферримагнитные зерна должны быть связаны с нервной системой. Свойства биогенного магнетита позволяют рассмотреть несколько простых способов, в соответствии с которыми организм может строить органеллы: изолированный рецептор, торсионный детектор, рецептор с суперпарамагнитными зернами.

Простейший способ соединения магнетита с нервной системой может быть в том случае, когда на рецепторную клетку приходится однодоменное зерно, имеющее свойства постоянного магнита (рис.7а). Однодоменный кристалл магнетита содержится в мембране, где он свободно поворачивается под влиянием ГМП. Если зерно магнетита изолировано частично, контакт неизолированных участков внешней и внутренней среды, разделяемых мембраной, будет возникать при определенной ориентации МП. Поскольку по биологическим стандартам магнетит превосходный проводник, при таком расположении, как на рис.7б, он будет деполяризовать мембрану, генерирующую потенциально полезный сигнал. При повороте зерна электрическая деполяризация изменяет потенциал мембраны, управляющий потенциалом действия. В данной модели небольшая органелла, содержащая зерно биогенного магнетита, изолированное, например, миелином, удерживается гидрофобными группами протеина поперек мембраны чувствительного нервного окончания.

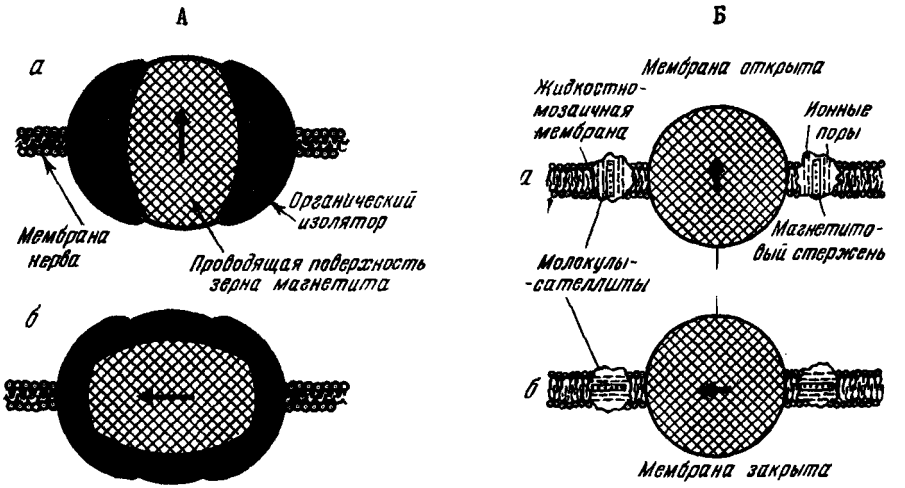
Энергия взаимодействия $\vec{m}\vec{B}$ изолированного зерна с магнитным моментом $\vec{m}$ и внешнего магнитного поля $\vec{B}$ должна быть несколько больше kT. Поскольку $|\vec{m}| = VI_s$, объем зерна в ГМП ($B \simeq 0{,}05$ мТл) определяет эту энергию взаимодействия; на рис.6 можно нанести кривые равной энергии (соответствующие равным объемам зерен) при $\gamma = \vec{m}\vec{B} / kT$, равном 0,1; 1; 10.

При трех органеллах, расположенных примерно ортогонально, средняя частота потенциалов действия каждой из них может передать информацию, необходимую для оценки направления МП. Частота срабатывания содержит

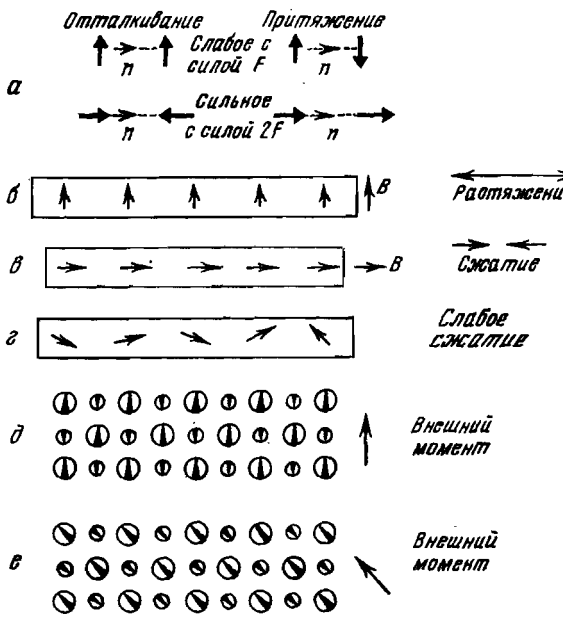
также информацию о магнитной напряженности, поскольку каждое зерно магнетита соответствует гармоническому осцилятору, возбуждаемому тепловым воздействием. В среднем магнитный момент зерна $\vec{m}$ будет распределен вокруг направления внешнего поля $\vec{B}$ со среднеквадратичным угловым отклонением $(2kT/mB)^{1/2}$. Так как обе стороны зерна (рис.7а). должны участвовать в закорачивающем мембрану цикле, то такой детектор не может различать полярноотъ, по этой же причине размагничивание не может изменить реактивность органеллы. Пчелы, голуби и зарянки, как известно, не воспринимают полярность. Нервная система животного может усиливать разрешающую способность любого органа вооприятия, интегрируя отклики большого числа органелл или осредняя выходные сигналы в течение некоторого временного интервала, или производя и то и другое. Теоретическая чувствительность при этом оставляет 4 нТл при времени осреднения τ = 35 мс. При τ = 3,5 с голуби спосоабны, по крайней мере теоретически, различать изменения в 0,4 нТл.

Движение зерна однодоменного магнетита может изменять потенциал мембраны не только при замыкании ее в поперечном направлении, но и открывая и закрывая ионные каналы (рис.7б). При этом более крупное зерно магнетита может быть суперпарамагнитным. Молекулы-сателлиты в среде мембраны (внутри липидного двойного слоя) имеют сердцевину из магнетитового стержня (минерализованного ядра ферритина) и ориентируются параллельно напряженности локального поля, создаваемого более крупным кристаллом. Энергия взаимодействия между молекулами-сателлитами и более крупным кристаллом должна быть больше kT, для чего суперпарамагнитные зерна-оателлиты должны иметь такую форму, чтобы магнитостатическая энергия за счет анизотропии формы превышала kT. Объем такого кристалла-сателлита оценивается величиной, эквивалентной объему шара, диаметром 4,8 нм. Молекула-сателлит, имеющая энергию анизотропии равную 3 kT, может быть образована при преобразовании ядра железосодержащего ферритина диаметром около 7 нм в магнитный стержень. При суперпарамагнитных овойствах более крупного зерна его момент может менять направление в соответствии с внешним МП без движения самого зерна, а молекулы-оателлиты, взвешенные в прилегающей мембране, будут поворачиваться в соответствии о моментом более крупного зерна, открывая и закрывая прилегающие к ним ионные каналы. Зерна, соответствующие полученным теоретически суперпарамагнитным размерам, выделены из пчел. Хотя пчелы имеют и однодоменные зерна, уже одна только суперпарамагнитная фракция может обеспечить чувствительность около I нТл при усреднении в интервале 3,5 с.

На основании раосмотренных моделей изолированных детекторов возможны многие варианты моделей магниторецепторов, но во всех случаях тепловая энергия kT должна быть скомпенсирована энергией взаимодействия mB, а наивысшая отепень чувствительности к МП, которую могут достигнуть животные, определяется количеством имеющегоов магнетита.



Р и с. 7. А – модель закорачиваемой мембраны при проводящей (а) и изолирующей (б) ориентации. Б – детектор с симпатическими сателлитами: а – внешнее поле перпендикулярно мембране; ионные поры подвергаются действию внешней среды, возбуждающей мембрану с перами; б – внешнее поле в плоскости мембраны, поры перекрыты



Р и с. 8. Суперпарамагнитные упорядоченные скопления: а – геометрия слабого и сильного притяжения и отталкивания двух магнитных моментов; б,в,г – преобразователь в виде эластичного стержня; д,е – конфигурация рецептора, аналогичного ферримагнитному датчику; В – индукция магнитного поля

В другой простой модели магниторецептора однодоменные магниты расположены в ряд и их механические моменты суммируются вдоль общей оси. На каждый домен с магнитным моментом $\vec{p}$ в ГМП действует механический момент, примерно эквивалентный $(\vec{p}\vec{B})$; весь стержень будет испытывать действие механического момента, равного $[(\Sigma\vec{p})\vec{B}]$. Каждый кристалл детектора должен находиться в области однодоменной стабильности (рис.6). При такой структуре может быть получена любая чувствительность простым наращиванием числа однодоменных магнитов. В магниточувствительных бактериях магнетит образует цепочки, которые не только вовлекают бактерию в общий ряд, но и управляют полярностью каждого вновь образующегося кристалла. Голуби имеют удлиненный однодоменный магнетит (рис.6), который также может образовывать детектор торсионного типа. Устойчивая природная остаточная намагниченность групп пчел, вероятно, отражает ориентацию куколок в сотах перед выходом из них пчел, что подтверждает указанный тип процесса магниторецепции. Детектор торсионного типа в принципе позволяет различать север и юг.

Следующий вариант магниторецепторов построен на представлении об упорядоченных скоплениях суперпарамагнитных зерен. В результате магнитного взаимодействия на два соседних супермагнитных зерна действует отталкивающая сила или сила притяжения в зависимости от ориентации их дипольных моментов. Из-за того, что направление намагниченности суперпарамагнитного зерна легко меняется под влиянием внешнего поля, направление и интенсивность сил взаимодействия также может меняться и вызывать заметную реакцию известных механорецепторов (рис.8). Простая линейная геометрия такого типа детектора - эластичный стержень с регулярно расположенными зернами (рис.8б-г). На рис. 8б внешнее поле располагает все суперпарамагнитные моменты перпендикулярно стержню, они отталкиваются и длина стержня увеличивается. При расположении моментов параллельно стержню (рис.8в) зерна притягиваются, вызывая сжатие стержня. В отсутствие внешнего поля (рис.8г) моменты расположены случайным образом или скомпенсированы. Соседние зерна находятся на таком расстоянии, при котором поле диполя одного из них, действующее на соседние, меньше ГМП: они достаточно далеки друг от друга (если зерна расположены слишком близко, будет преобладать диполь-дипольное взаимодействие и отклика не возникнет). По размерам зерна должны лежать ниже линии перехода от суперпарамагнитных к однодоменным размерам (две нижние кривые рис.6), т.е. иметь размер около 40 нм и менее, а расстояние между зернами около 400 нм. При числе зерен 10^8, как у пчел, максимально возможная суммарная сила, развиваемая стержнем (рис.8б и 8в), равна 10^{-7} Н. Если такая сила сосредоточена на площади 100 мкм^2, давление будет 10^{-3} Н/см^2, что соответствует диапазону чувствительности известных механорецепторов.

Используя упорядоченное скопление суперпарамагнитных зерен, можно построить детектор, подобный ферримагнитному материалу. Незначительное

уменьшение размера каждого второго зерна может соответственно уменьшить параллельные магнитные вектора в общем ряду (рис.8д), в результате чего вся структура будет иметь общий магнитный момент. При этом каждое зерно являетоя аналогом отдельного момента, связанного силами квантсвомеханического взаимодействия в кристаллической решетке ферримагнитного материала, а вся органелла имеет оуперпарамагнитные свойства. Внешнее МП может вызывать деформацию, аналогичную магнитоотрикции, всзникающей в ферримагнитных материалах. Кубическая решетка из магнитных зерен может быть расположена в соединительной ткани, окружающей типичный рецептор давления. На рис.8д моменты параллельны осям кубической решетки и расположены вдоль магнитожесткого направления, на рис.8е моменты расположены вдоль магнитомягкого направления. Круговое движение животного (и следовательно органеллы) относительно ГМП будет изменять силы взаимодействия и, следовательно, вызывать ощутимые изменения.

Следует отметить, что клаооические термодинамические методы при изучении электромагниторецепции недоотаточны, поскольку они непосредственно не несут сведений о кинетике и механизмах быстрых реакций в жидких фазах и не связаны с откликом жидкостей на возмущения, вызываемые внешними взаимодействиями - электрическими, магнитными, акустическими, а отклик системы на внешние воздействия во многих случаях определяется механизмом химических реакций [23]. Вследствие ограниченности возможностей термодинамических методов при иооледовании электромагниторецепторов неионизирующих излучений необходимо пользоваться резонансными методами.

Дж.Л.Киршвинком [24] высказано предположение, что магнетит, являясь основой электромагниторецеппиикут в зднин – нусшвыендеоднттее цм ивсе л2ане

о с р чоааи сси ос и теоаал ом а оа оже оиссс тс соо ос

Литература

I. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля, М.: Наука, 1975. 207 с.

2. Куприянович Л.И. Биологические ритмы и сон. М.: Наука, 1976. 120 с.

3. Агаджанян Н.А. Зерно жизни: (Ритмы биосферы). М.: Сов. Россия, 1977. 256 с.

4. Kirschvink J.L. Biogenic magnetite (Fe_3O_4): A ferromagnetic mineral in bacteria, animals and man. Ferrites: Proc. of the Intern. Conf., Sept.-Oct., 1980, Japan. p.30.1-30.4.

5. Ройрих Н.П. Пчелы - крылатые фармацевты. М.: Наука, 1964. 158 с.

6. Еськов Е.К. Поведение медоносных пчел. М.: Колос, 1981. 184 с.

7. Дьюсбери Д. Поведение животных: Сравнительные аспекты. М.: Мир, 1981. 479 с.

8. Темурьянц Н.А. Влияние слабых электромагнитных полей сверхнизкой частоты на морфологию и некоторые показатели метаболизма лейкоцитов периферической крови животных: Автореф. дис. ... канд. биол. наук, Симферополь, 1972. 19 с.

9. Виноградова Л.И. Биологические ритмы при нарушении деятельности управляющих структур мозга. - Клин. медицина, 1973, № 1, с. 26-31.

10. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентность организма. Ростов н/Д: Изд-во Ростт. ун-та, 1979. 126 с.

11. Владимирский Б.М. Активные процессы на Солнце и биосфера.-Изв.АН СССР. Сер. физ., 1977, т.41, № 2. с. 403-410.

12. Биодогические ритмы; Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1980, т.41. 319 с.

13. Богатина Н.И., Веркин Б.И., Кордюм В.А., Кордюм Е.Л., Литвин В.М. Влияние постоянных магнитных полей различной направленности на скорость роста проростков пшеницы. - Докл. АН УССР.Сер. биол. № 4, 1978. с. 353-357.

14. Achkasova Yu.N., Pyatkin K.D., Bryzgunova N.I. et al. Very low frequency and small intensity electromagnetic and magnetic fields as an oecological factor. - J. Hyg., Epidemiol., Microbiol. and Immunol. 1978, vol. 22, N 4, p. 415-420.

15. Ачкасова Ю.Н., Бобова В.П., Брызгунова Н.И., Владимирский Б.М. Секторная структура межпланетного магнитного поля и размножение бактерий в лабораторном эксперименте. - Солнечные данные 1978 г. Л.: Наука, 1978, № 1, с. 99-102.

16. Шноль С.Э. Физико-химические факторы биологической эволюции. М.: Наука, 1979. 262 с.

17. Kirschvink J.L., Gould J.L. Biogenic magnetite as a basis for magnetic field detection in aminals. - Biosystem, 1981, vol. 13, p. 181-201.

18. Kirschvink J.L., Lowenstam H.A. Mineralization and magnetization of chiton teeth. Paleomagnetic, sedimentologic and biologic implications of organic magnetite. - Earth and Planet. Sci. Lett., 1979, vol. 44, p. 193-204.

I9. Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, I975, т.2, 207 с.

20. Акопа Я.И. Нервы желез внутренней секреции и медиаторы в регуляции эндокринных функций. М.: Наука, I98I. 503 с.

2I. Райцес В.С. Механизмы взаимодействия внутренних и внешних анализаторов. Л.: Наука, Ленигр. отд-ние, I980. I50 с.

22. Нагата Т. Магнетизм горных пород. М.: Изд-во иностр. лит. I956. 226 с.

23. Шахпаронов М.И. Механизмы быстрых процессов в жидкостях. М.: Высш. школа, I980. 352 с.

24. Kirschvink J.L., Ph.D. thesis, Princeton University, Princeton N.J. (May 1979), Chapter 6, Organic magnetite as a basis for magnetic field detection in animals, 53 p.

25. Шёпф Х.Г. От Кирхгофа до Планка. М.: Мир, I98I. I90 с.

26. First the MASER, next the LASER, now the GRASER. - Electron. Weekly, 1977, July, Wednesday, N 880, p. 22.

2. РЕАКЦИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

2.I. Изменение адаптационных реакций организма и его резистентности под влиянием электромагнитных полей

В течение всей жизни организму приходится постоянно приспосабливаться к непрерывно меняющимся условиям внешней и внутренней среды. Изменение напряженности ЭМП в связи с солнечной активностью [1-6], изменение электрических характеристик атмосферы в зависимости от метеорологических условий [7,8], а также электромагнитного фона в населенных местах вблизи радиостанций, телецентров и т.п. [9,10] не безразличны для организма, так как доказано, что все эти физические факторы обладают биологической активностью. Однако, несмотря на непрерывно происходящие изменения во внешней среде, в том числе и в электромагнитной обстановке, в организме поддерживается относительное динамическое постоянство внутренней среды - гомеостазис, что является необходимым условием существования организма.

Как происходит поддержание гомеостазиса? На первый взгляд может показаться парадоксальным, что сохранение относительного постоянства внутренней среды возможно лишь благодаря реагированию на всевозможные изменения. В процесое эволюции в организме вырабатались приспособительные реакции, помогающие ему поддерживать гомеостаз и тем самым защищаться и выживать. Таким образом, приспособление тесно связано с защи-

той, с защитой не механической, а биологической, т.е. с устойчивостью (резистентностью) организма.

Для того, чтобы рассмотреть вопрос о роли ЭМП в регуляции резистентности, необходимо характеризовать адаптационные реакции, определяющие уровень резистентности. Что это за реакции? Сколько их? Отличаются ли реакции организма на ЭМП от реакций на другие биологически активные факторы? И, наконец, можно ли избежать вредного действия электромагнитных возмущений и, даже напротив, повышать, используя ЭМП, резистентность организма с целью профилактики и лечения различных расстройств? Попытаемся ответить на эти вопросы.

В основе приспособительной деятельности организма лежит количественно-качественный принцип: на различную интенсивность раздражающего фактора организм отвечает различным качеством адаптационной реакции. Реакцию организма на всевозможные сильные раздражители - стресс - открыл и описал канадский ученый Г.Селье [11,12]. Впервые было показано, что ответная реакция организма на сильный раздражитель является неспецифической, так как она развивается стандартно на различные по качеству раздражители, достигшие определенной силы. Из описания Селье реакции стресс следует, что защита тесно переплетается с повреждением. Достаточно сказать, что в первой стадии стресса - реакции тревоги - наблюдаются кровоизлияния и язвы в слизистой желудочно-кишечного тракта. Процессы обмена чрезвычайно напряжены, преобладают явления распада над синтезом, энергетические траты очень высоки. Увеличение секреции адренокортикотропного гормона гипофиза и вследствие этого глюкокортикоидных гормонов коры надпочечников приводит к подавлению основных защитных систем организма: тимико-лимфатической системы, системы соединительной ткани. В ответ на сильный раздражитель после кратковременного чрезмерного возбуждения в ЦНС развивается запредельное торможение - крайняя мера защиты по И.П.Павлову. Биологическая целесообразность этого явления заключается в снижении возбудимости, реактивности, в подавлении естественного защитного ответа, так как ответ, адекватный чрезмерной силе раздражения, мог бы погубить организм. В следующей стадии стресса - стадии резистентности - отмечается повышение неспецифической резистентности, т.е. повышается устойчивость не только к фактору, вызвавшему стресс, но и другим повреждающим воздействиям. Однако, как видно из характеристики реакции тревоги, повышение резистентности достигается очень дорогой для организма ценой. При тяжелом стрессе после стадии резистентности наступает декомпенсация, истощение и гибель. Различные стадии стресса являются неспецифическим фоном развития многих патологических процессов.

Однако в течение жизни организм встречается не только с сильными раздражителями, но и со слабыми, и "средними", на которые он тоже реагирует, но иначе, чем на сильные. Исследования показали, что на действие различных по качеству слабых, пороговых раздражений организм

реагирует другой адаптационной реакцией, названной реакцией тренировки [13-14]. В ЦНС преобладает превентивное торможение. Биологическая целесообразность этого - в снижении возбудимости, реактивности по отношению к слабому раздражителю, на который целесообразнее всего отвечать. При повторении пороговых раздражений происходит переотройка, в основе которой лежит тренировка превентивного торможения - абсолютная величина. Порог раздражения постепенно растет. При длительной трени - ровке пороговым может стать раздражитель, вызывающий стресс у нетре - нированных, что свидетельствует о повышении устойчивости организма при развитии реакции тренировки. То же происходит в эндокринной, тимико-лимфатической, иммунной системах, а также в системе соединительной ткани [13-15]. Обмен веществ находится при этом на энергетически вы - годном урсвне, преобладают процессы синтеза. Таким образом, повышение резистентности при развитии реакции тренировки происходит физиологи - ческим путем, без явлений повреждения и больших энергетических затрат.

При действии различных по качеству раздражителей средней силы - промежуточных между слабыми и сильными - развивается иная адаптационная реакция, отличающаяся по комплексу изменений в организме и от реакции отресс, и от реакции тренировки. Раздражение средней силы является наиболее адекватным для возбуждения защитной деятельнсти орга - низма. В ЦНС преобладает физиолсгическое всзбуждение, но тормозной процесс не ослаблен. Защитные оистемы организма активируются. Уровень обмена умеренно повышен, процессы распада и синтеза хорошс уравновешены. Резистентность организма псвышается значительно быстрее, чем при слабых воздействиях, и также физиологическим путем. Адаптационная реакция на раздражители средней силы (дозы) названа реакцией активации [16,17]. Биологический смысл реакции активации - в повышении защитного ответа на раздражитель, кторый уже не является таким слабым, что на него целесообразнее не отвечать, и не является таким сильным, что для ответа на него необходимо подавлять защитные системы срганизма. В последнее время в реакции активации выделены две зоны - спокойной активации (ЗСА) и повышенной активации (ЗПА). ЗПА непосредственно граничит со стрессом - превышение силы раздражения может перевести ЗПА в стресс [13].

Необходимо подчеркнуть, что реакции тренировки и активации в отличие от реакции стресс присущи здоровому организму. Живой организм постоянно находится в какой-либс стадии одной из адаптационных реакций. Поэтому так называемая норма является фактически смесью разных адаптационных реакций в различных стадиях, постоянно формирующихся в живом организме в результате действия раздражений, поступающих из внешней и внутренней ореды в ЦНС. В подкорковых отделах мозга, главным образом в гипоталамусе, формируется тип ответа, который определяет развитие той или иной адаптационной реакции в организме, что осуществляется через подчиненные системы организма нервным и гуморальным путем. Ни одна спе-

цифическая функция не может реализоваться без определенного неспецифического фона. Характер этого фона определяется силой (дозой) воздействий. Это биологически целесообразно, так как позволяет отвечать экономически выгодно, без излишних трат.

Таким образом, описанные приспособительные реакции являются неспецифическими, так как развиваются в ответ на разные по качеству раздражители. Кроме того, эти реакции являются общими, т.е. реакциями всего организма с развитием стандартного комплекса изменений, соответствующего определенной реакции, во всех системах и органах, а также на всех уровнях организации, вплоть до субклеточного. Характер ответной реакции определяют биологическая активность раздражителя, чувствительность, реактивность организма и его резистентность.

Как и другие факторы внешней среды, ЭМП в зависимости от своей биологической активности вызывает различные адаптационные реакции. Это понятно, так как МП непосредственно влияет на ЦНС [18,19] и изменяет функциональную активность гипоталамуса [15-18], постоянное МП снижает возбудимость [15,20], вызывая преимущественно развитие реакции тренировки, а переменное МП в зависимости от частоты и напряженности оказывает тормозящее или возбуждающее действие [21,22], вызывая соответственно реакцию тренировки или активации или даже стресс [15,23,24].

В опытах на животных нами были получены адаптационные реакции при помощи различных раздражителей (химических, фармакологических, биостимуляторов), в том числе постоянных и низкочастотных МП, а ниже ЭМП СВЧ диапазона нетепловых интенсивностей [15,23]. Варьируя параметры МП и ЭМП, удавалось вызывать все адаптационные реакции. Стрессорное действие ЭМП, по нашему мнению, может быть причиной увеличения заболеваемости и числа дорожных катастроф во время геомагнитных возмущений [25-29]. Именно в это время повышается напряженность биологически активной низкочастотной составляющей ЭМП [21,4,19] (см. также п. 2.3 наст. главы).

Большинство здоровых людей не реагируют болезненно на изменение электромагнитной обстановки. Однако это не является доказательством отсутствия влияния таких изменений на организм. Как в экспериментах на животных, так и при наблюдениях за людьми нами показано, что устойчивость здорового организма может быть очень высока. Даже вредно действующий фактор не в состоянии быстро вызвать стресс. Такая устойчивость наблюдается, например, в состоянии повышенной активации (ЗПА), в котором часто находится здоровый молодой организм. Если же человек страдает каким-либо хроническим заболеванием, то он уже находится в состоянии стресса либо может легко перейти в это состояние под влиянием такого дополнительного воздействия, как резкое изменение ГМП. Исследования [25-27] показали, что магнитные бури влияют преимущественно на больных людей, вызывая обострения имеющегося заболевания сердечно-сосудистой системы.

При изучении адаптационных реакций, вызванных МП, рассматривались не только показатели нейро-эндокринных функций, но и показатели деятельности других систем, а также уровень и характер резистентности. Показано [13-17], что соотношения форменных элементов белой крови, особенно отношение между числом лимфоцитов и сегментоядерных нейтрофилов (лф/сн) с большим постоянством характеризуют каждую из реакций и поэтому могут быть использованы как простые критерии для определения характера адаптационной реакции организма [13]. Наибольшая величина лф/сн наблюдается в ЗПА, в ЗСА, затем – в реакции тренировки и наименьшая – при стрессе.

Исследования, проведенные в экспериментах на животных, у которых различные адаптационные реакции вызывались постоянными и переменными МП, нейротропными веществами, а также непосредственным электрическим раздражением гипоталамической области мозга через вживленные электроды, показали наличие характерных для каждой из реакций изменений свертывающей системы крови. В последующем эти данные получили подтверждение при исследовании показателей свертывания крови у людей как здоровых, так и с нарушениями свертывания крови различного происхождения. В последнем случае больные получали специально подобранные по анализам крови дозы переменного МП от аппарата "Полюс" [28] или биостимуляторы (растительного или животного происхождения).

В результате перевода стресса в другую адаптационную реакцию и стойкого ее поддерживания у больных удавалось нормализовать свертывание крови при постепенной отмене специальных антикоагулянтов.

Исследования влияния развития реакции тренировки и активации, вызываемых и поддерживаемых у людей переменным МП, на величину артериального давления показали наличие нормализующего действия этих реакций. У 20 больных до лечения отмечалась выраженная гипертония (АД: систолическое - до 200, диастолическое -до 100 мм рт. ст.),а у 6 - гипотония (АД: систолическое – 90-110, диастолическое – 55-60 мм рт. ст.).Через 2 недели после начала лечения у больных I-й группы (у 8 из них вызывали и поддерживали реакцию тренировки, у 22 – реакцию активации) АД снизилось (систолическое – 130-150, диастолическое – 75-80 мм рт. ст.) и держалось на этом уровне в течение всего курса лечения МП. Необходимо отметить, что все гипотензивные препараты были полностью отменены. Такой же гипотензивный эффект наблюдался у 9 больных с гипертонией при развитии реакции активации малыми дозами адреналина. У всех больных гипотонией вызывали и поддерживали действием МП реакцию активации. Происходила четкая нормализация АД (систолическое -115-110, диастолическое – 60-70 мм рт. ст.). У всех больных улучшилось самочувствие, нормализовались сон и аппетит. У 3 больных пожилого возраста, имевших до лечения по данным ЭЭГ нарушение питания миокарда, после лечения ЭЭГ стала нормальной.

Таким образом, развивающиеся под влиянием МП изменения в свертываю –

щей системе крови и сердечно-сосудистой системе относятся к неспецифическим изменениям, являющимся результатом адаптационной реакции, что, как уже подчеркивалось, зависит не от качества, а от интенсивности (количества) раздражителя - степени биологической активности. Эти сведения могут быть использованы для профилактики обострений сосудистых расстройств, наблюдающихся во время магнитных бурь. Поскольку характер реакции организма легко определяется по морфологическим изменениям белой крови, то людей, склонных к подобного рода нарушениям, необходимо незадолго до наступления электромагнитного возмущения брать под особый контроль и путем различных воздействий (в том числе и специально подбираемых "дозировок" МП) поддерживать у них одну из физиологических реакций - тренировки или активации. Как уже указывалось ранее, у большинства здоровых людей, т.е. находящихся в состоянии реакции тренировки или активации, не отмечается патологических нарушений во время магнитных бурь, что объясняется высокой резистентностью, развивающейся в организме при этих реакциях.

Экспериментальные исследования, проведенные нами совместно с Я.В.Пантюхиным и А.А.Татаренко, показали, что при одной и той же интенсивности облучения ЭМП СВЧ соотношение между поглощенной, пропущенной и отраженной мощностью менялось в зависимости от адаптационной реакции, в которой находился организм. При реакциях тренировки и особенно активации доля поглощенной энергии была существенно меньше, чем при стрессе, за счет увеличения энергии пропускания и отражения. При тяжелом стрессе большая часть мощности поглощалась. Такое "самоэкранирование" представляет, с нашей точки зрения, интересное явление, механизм которого необходимо исследовать. Во всяком случае, отсутствие вредного действия электромагнитных возмущений может быть связано с присущим здоровому организму свойству "самоэкранирования".

Говоря о повышении неспецифической резистентности под действием МП необходимо хотя бы кратко затронуть вопрос о противоопухолевой резистентности. В настоящее время имеется большое число экспериментальных исследований, в которых показан противоопухолевый эффект ЭМП и МП [29-34] . Показано [15-17], что противоопухолевый эффект (торможение роста экспериментальных опухолей вплоть до полного их рассасывания) достигается при развитии реакции активации, вызываемой самыми различными способами. На большом, вначале экспериментальном, а затем и клиническом материале было показано, что противоопухолевое действие оказывают МП с параметрами, вызывающими развитие (при стойком поддерживании) реакции активации [15,35,36]. Использование МП, приводящих к развитию стресса, вызывает даже стимуляцию роста опухоли. Таким образом, в основе противоопухолевого влияния МП лежит повышение неспецифической резистентности. Характер изменений в организме под влиянием ЭМП, как и любого другого раздражителя, зависит от того, какую адаптационную реакцию оно вызывает.

Анализ литературных данных по биологическому действию МП, применяемых в широком диапазоне как по величине магнитной индукции - от десятков мкТл до десятков Тл, так и по времени - от секунд до многих месяцев, показал, что наблюдаемые изменения укладываются в картину описанных адаптационных реакций. Однако такая простая "многоярусная" зависимость, когда слабые воздействия вызывают реакцию тренировки, более сильные - реакцию активации, а еще более сильные - реакцию стресс, нарушается. Имеются данные о том, что по мере роста напряженности МП магнитобиологические эффекты часто не увеличиваются, а даже уменьшаются /5,21,37/, т.е. МП малой интенсивности, едва отличающиеся от ГМП, оказываются чрезвычайно активными, даже более активными, чем МП высоких напряженностей /5,38/; при действии МП различной напряженности часто наблюдаются однотипные эффекты /39/. Применение сверхмощных МП не оказывает повреждающего действия /40/. Отсутствует также простая линейная зависимость между биологической активностью и длительностью действия МП /18/. Таким образом, наличием трех адаптационных реакций не исчерпываются возможности реагирования организма на МП различной биологической активности. Если бы по мере увеличения напряженности (или экспозиции) развивались только эти реакции и последняя из них - стресс, то дальнейшее превышение стрессорной "дозы" должно было бы, согласно Г.Селье, приводить организм к гибели. И, напротив, при любом уменьшении дозы, вызывающей реакцию тренировки, не должно было наблюдаться никаких изменений в организме, так как доза становилась бы подпороговой. Однако это не соответствует фактам. Специальное исследование влияния на организм постепенного увеличения МП с 0,1 до 50 мТл показало, что триады адаптационных реакций (тренировка - активация - стресс) закономерно повторяются, причем отделяются друг от друга "зоной ареактивности", в которой МП оказывается как бы не действующим /41,42/. Такая периодичность в адаптационной деятельности организма отмечается при действии не только МП, но и других раздражителей. Следовательно, в организме существуют различные уровни реактивности, своего рода "ярусы". На каждом из этих уровней количественно-качественные отношения более простые, чем во всей иерархии уровней в целом, а именно, слабые для данного уровня раздражители вызывают реакцию тренировки, средние - реакцию активации, сильные - стресс. Увеличение биологической активности до величины, выше той, которая вызывает стресс на предыдущем уровне реактивности, или уменьшение до величины ниже той, которая вызывает реакцию тренировки, приводят к переключению реакций с одного уровня на другой. Чувствительность одного уровня отличается от чувствительности соседнего в 5-10 раз у здоровых людей и в 2-5 раз - у больных. Это связано с различной величиной коэффициента реакции у здоровых и больных людей. Опытным путем было получено, что для перевода одной реакции в следующую необходимо увеличить активность раздражителя в 1,5-2 раза для здоровых людей и в

I,2-I,5 раза - для больных. Коэффициент реакции - величина довольно стабильная для каждого организма.

Сравнение адаптационных реакций, развивающихся на разных уровнях реактивности, показало, что основной комплекс изменений, характеризующий каждую из реакций, аналогичен. Это объясняет непонятные, на первый взгляд, данные о наличии однотипных изменений в организме под действием МП различных параметров. Возможность развития стресса при малых интенсивностях и реакций тренировки и активации - при больших позволяет понять, почему малые поля могут оказывать более сильное действие, чем большие. Организм реагирует на каждом уровне как бы не на всю величину МП, а только на ее приращение по отношению к "зоне ареактивности", наличие которой может объяснить отсутствие видимого биологического действия МП [43]. В то же время одна и та же реакция на разных уровнях реактивности не равна самой себе. По мере возрастания биологической активности раздражителя одна и та же реакция требует больших энергетических трат (совместные исследования с М.Н.Кондрашовой, Е.И.Маевским и сотр.).

Изучение характера повышения резистентности при одних и тех же адаптационных реакциях, развивающихся на различных уровнях реактивности, показало, что при действии переменных МП малой интенсивности (0,I-0,7 мТл) резистентность, по крайней мере, не ниже, а иногда даже выше, чем при исследовании МП значительно большей интенсивности (30-50 мТл). Поддерживать реакции тренировки и активации также легче на тех уровнях реактивности, на которые действует МП малых интенсивностей, что может быть связано с меньшими энергетическими тратами на этих уровнях. Дальнейшее изучение принципа периодичности в развитии адаптационных реакций к действию ЭМП и МП, изучение энергетической цены резистентности на разных уровнях реактивности позволит более сознательно избирать параметры ЭМП и МП для повышения резистентности организма.

Закрепившаяся в эволюционном процессе сложная периодичная количественно-качественная зависимость в развитии общих адаптационных реакций обеспечивает тонкую и чувствительную систему приспособления даже к небольшим количественным изменениям ЭМП в широком диапазоне значений, в том числе и к ГМП, в котором организм непрерывно функционирует.

Литература

I. Влияние солнечной активности на биосферу. Проблемы космической биологии, т.43. М.: Наука, I982, 233 с.

2. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, I974, I76 с.

3. Музалевская Н.И. Характеристики возмущенного геомагнитного поля как раздражителя. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, I973, с. II9-I28.

4. Музалевская Н.И. Неоднородность низкочастотных флюктуаций электро-

магнитного поля и его экологическая значимость. – В кн.: Система адаптации человека и внешняя среда. Л., 1975, с.113-115.
5. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 288 с.
6. Чижевский А.Л. Периодическое влияние Солнца на биосферу Земли.: Дскл. в Моск. археол. ин-те. Отд. отт. М.: 1915.
7. Красногорская Н.В. Электричество нижних слоев атмосферы и методы его измерения. Л.: Гидрометеоиздат, 1972, 322 с.
8. Красногорская Н.В. Электричество атмосферы Земли. – В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т. 1, с. 24-39.
9. Минх А.А., Думанский Ю.Д., Шандала М.Г. Электромагнитное поле как гигиенический фактор в условиях населенных мест. – Там же, т.3, с.41-48.
10. Пресман А.С. Электромагнитные поля в биосфере. М.: Знание, 1971, 64 с.
11. Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме. М.: Медгиз, 1960, 267 с.
12. Селье Г. На уровне целого организма. М.: Наука, 1974, 122 с.
13. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Роль адаптационных реакций в патологических процессах и простые критерии этих реакций у людей. – В кн.: Регуляция энергетического обмена и устойчивость организма. Пущино, 1975, с.172-182.
14. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентность организма. – Тр. Рост. н.-и. онкол. ин-та. Изд-во Рост. ун-та, 1977, 190 с.
15. Гаркави Е.Б. Повышение неспецифической противоопухолевой резистентности организма с помощью бесконтактного раздражения гипоталамуса: Автореф. дис . д-ра мед. наук. М.: Ин-т эксперим. и клин. онкологии АМН СССР. 1972, 41 с.
16. Гаркави Л.Х. Об общей неспецифической адаптационной "реакции активации", способствующей борьбе организма с опухолью. – Тр. Ростов. н.-и. онкол. ин-та. Ростов н/Д, 1968, с.341-348.
17. Гаркави Л.Х. Адаптационная "реакция активации" и ее роль в механизме противоопухолевого влияния раздражений гипоталамуса: Автореф. дис. д-ра мед. наук. Донецк: Гос. пед. ин-т им. А.М.Горького, 1969, 30 с.
18. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975, 207 с.
19. Becker R.O. The effect of magnetic fields upon the central nervous system. In: Biological effects of magnetic fields. N.Y.: Plenum Press, 1969, vol.2, p.207-214.
20. Квакина Е.Б., Котляревская Е.С., Квакин С.Д. Измерение возбудимости гипоталамуса под влиянием магнитного поля. – В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, 1969, с.103-106.
21. Владимирский Б.М., Волынский А.М. Воздействие электромагнитных полей

с напряженностью, близкой к естественной, на физико-химические и биологические системы. – В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.1, с.126–150.

22. Квакина Е.Б., Котляревская Е.С., Квакин С.Д. и др. Активирующее действие прерывистого магнитного поля на ЦНС. – В кн.: Новости медицинского приборостроения. М.: 1971, с.73–77.

23. Квакина Е.Б., Уколова М.А. О различных адаптационных реакциях в зависимости от силы воздействия магнитного поля. – В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, 1969, с.107–110.

24. Шихлярова А.И. О возможности передозировки при лечебном применении слабых магнитных полей на биологические объекты. Калининград: Гос. ун-т, 1975, 170 с.

25. Ажицкий Ю.А. Некоторые данные о реактивности организма у больных, страдающих сердечно-сосудистыми и легочными заболеваниями в зависимости от различных гелиогеофизических условий. – В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.2, с.72–74.

26. Ганелина И.Е., Чурина С.К., Савояров Н.В. Напряженность магнитного поля Земли и частота возникновения инфаркта миокарда. – Там же, с.75–76.

27. Ермолаев Г.Т. Влияние геомагнитных возмущений на больных с сердечно-сосудистой патологией. – Там же, с.74–75.

28. Соловьева Г.Р., Еремин В.А. Экспериментальный аппарат для магнитотерапии. – В кн.: Новости медицинского приборостроения. М., 1971, с.63–68.

29. Абдулаев М.Д., Жданова С.М. Влияние постоянного магнитного поля на рост экспериментальных опухолей. – В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, 1969, с.3–5.

30. Демьяненко В.В. К вопросу о терапевтическом эффекте магнитного поля при экспериментальной карциноме Эрлиха. М.: 1966, с.27–29.

31. Пирузян Л.А., Маркузе И.И., Чибрикина В.И. Действие постоянного магнитного поля на асцитную опухоль – саркому-37. М.: Изд-во АН СССР, 1969, с.893–898.

32. Холодов Ю.А., Жуковский В.Д., Шишло М.Н. Влияние магнитных полей на развитие злокачественных новообразований. – В кн.: Диагностика и лечение злокачественных новообразований. Киев: Здоровья, 1968, с.299–307.

33. Barnothy J.M. Rejection of transplanted tumors in mice. Biological effect of magnetic fields. N.Y.: Plenum Press, 1964, vol.I, p.100–108.

34. Riviere M.R., Pricre A., Barlureau F. et al. Action de champs electromagnetiques sur les greffes de la tumeur T8 chez le rat. – C.r. Acad. Sci., 1964, vol.259, N 25, p.662–663.

35.Уколова М.А., Квакина Е.Б. Влияние магнитного поля на экспериментальные опухоли (прямое и через нервную систему). - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, 1971, с.147-164.
36.Уколова М.А., Квакина Е.Б., Марьяновская Г.Я. и др. К вопросу о центральном и периферическом механизме противоопухолевого действия магнитных полей. - В кн.: Магнитное поле в медицине. Фрунзе: Киргиз. гос. мед. ин-т, 1974, с.14-15.
37.Холодов Ю.А. Физиологические характеристики биологического действия магнитных полей. - В кн.: Гигиеническая оценка магнитных полей. М.: Наука, 1972, с.30-34.
38.Спасская М.Г., Музалевская Н.И. Динамика некоторых биологических показателей при действии слабых переменных магнитных полей. - В кн.: Влияние искуственных магнитных полей на живые организмы. Баку: Гос. мед. ин-т, 1972, с.90-92.
39.Горшенина Т.И., Фрумкис А.Э. Морфологические характеристики действия переменного (50 Гц) магнитного поля малой напряженности в эксперименте. - В кн.: Магнитное поле в медицине. Фрунзе: Киргиз. гос. мед. ин-т, 1974, с.84-86.
40.Бородкина А.Г., Петрович И.К., Анашкин О.Б. и др. Влияние ПМП сверхвысокой напряженности на морфологический состав периферической крови. - Там же, с.78-80.
41.Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б.О принципе периодичности в реакции организма на магнитное поле как неспецифический раздражитель. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. Калининград, 1975, с.18-19.
42.Квакина Е.Б., Гаркави Л.Х. Принцип периодичности в реакции организма на магнитные поля нарастающей интенсивности. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.2, с.52-54.
43. Straub K.D., Carver P. Effects of electromagnetic fields on microsomal ATPase and mitochondrial oxidative phosphorylation. - Ann. N.Y. Acad. Sci., 1975, vol. , 247 p.

2.2. Влияние электромагнитного фона на кинетику нормального и злокачественного роста

В постановке проблем биологической кинетики часто используют детерминированные модели, основанные на решении кинетических уравнений, описывающих усредненное поведение системы с заданными начальными условиями. Поскольку живые системы являются существенно неравновесными, то флуктуации в них имеют особое значение. Наиболее четко эффект отклонения от средних величин проявляется в тех случаях, когда число взаимодействующих частиц невелико или поведение системы носит пороговый характер. Существенное значение имеют флуктуации, возникающие при откло-

нениях живых систем или их компонент от нормального зарядового состояния, которое определяется транспортом заряженных компонент в биологических объектах. Электрическое флуктуационное взаимодействие в полиэлектролитных системах, составляющих клетку, является универсальным и определяющим механизмом ферментативной активности в целом. Учет энергии флуктуационных полей в системе фермент-субстрат приводит к изменению констант скоростей ферментативных реакций [1]. Есть указания на то, что ЭП, обусловленное флуктуациями плотности заряда, определяет взаимодействие между гомологичными участками хромосом [2].

Отклонение свойств клетки от ее нормального состояния в результате микрофлуктуаций является естественным процессом и обычно не приводит к патологии. Однако внешние воздействия (радиация, канцерогены, электромагнитные возмущения) могут привести к заметному увеличению неравновесности системы, например, за счет возникновения избыточного (связанного или свободного) заряда в различных ее частях, вследствие чего возрастает роль крупномасштабных флуктуаций, способных вывести систему из динамически устойчивого неравновесного состояния, характерного для живых систем [3]. Между тем устойчивость живых систем к внешним флуктуационным возмущениям, в частности к электромагнитным, практически не изучена. Известны экспериментальные и теоретические данные, свидетельствующие о тесной связи между развитием живой материи и окружающим ее электромагнитным фоном. Например, в экспериментах [4] показана возможность получения белковоподобных соединений под действием флуктуационных ЭМП широкого спектра, генерируемых искровым разрядом. Высказываются предположения [5], что возрастание среднего уровня радиофона в биосфере является одной из причин акселерации. Возникает вопрос о возможном существовании связи между ростом уровня общепланетарного радиофона и наблюдающимся увеличением частоты онкологических заболеваний.

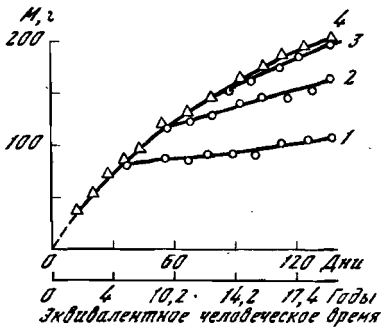
Цель настоящей работы - исследование влияния электромагнитных полей с частотным распределением, адекватным естественному фону, на кинетику нормального и злокачественного роста. Выбранные ЭМП характеризовались гауссовым распределением энергии и максимальной энтропией.

Исследования кинетики нормального роста проводили на 120 крысятах линии Вистар одного возраста, разделенных на 4 группы: первые 3 группы подвергались ежедневному воздействию фона ЭМП, начатому в различные сроки - на 28-, 45- и 62-й день после рождения, что соответствует данным человеческого возрастного эквивалента - 4,1; 7,24 и 10,37 лет [6]. Воздействие полем напряженностью 5 В/см продолжалось 15-20 сут по одному часу ежедневно. Четвертая группа была контрольной и воздействию не подвергалась. Источником электрических флуктуаций служили генераторы Г2-1 и Г2-12, при помощи которых ширину спектра[1] можно было варьи-

[1] Ширина спектра гауссовых флуктуационных полей обычно соответствует интервалу частот от нуля до верхней границы спектрального интервала.

ровать от 12 кГц до 6 МГц. Количественные показатели объемного и линейного роста крысят измеряли и рассчитывали по [7]. Опыты ставили с троекратным повторением по каждому варианту.

Исследование действия флуктуационных полей на злокачественный рост проводилось на трех штаммах перевивных опухолей: саркоме-45, ретикулосаркоме и карциносаркоме Уокера-256. Число животных в каждой серии составляло 140 линейных взрослых крыс по 15-25 животных в группе. Опухо-



Р и с. 9. Кинетические кривые изменения веса (Р) крысят при воздействии флуктуационным полем с шириной спектра 15 кГц

1 - воздействие на 28-е; 2 - на 45-е; 3 - на 62-е сутки; 4 - контроль

ли перевивали подкожно в бедро крысы в виде 30%-ной взвеси. Поле накладывалось контактным способом непосредственно на опухоль по методике, принятой в практике электрофореза. Плотность тока изменялась в пределах 0,05-0,1 мА/см^2, длительность сеанса - 15 мин. Воздействие на опухоли ЭМП проводили ежедневно в течение 20 дней в различные сроки после перевивки: через 2, 10 и 17 дней. Антибластическую активность поля оценивали по методике, принятой в работе /8/. Проводилось патогистологическое исследование опухолевых тканей животных опытных и контрольных групп, а также лейкоцитарного и эритроцитарного состава их крови. С целью снижения эффекта адаптации к полю испытуемые животные опытных и контрольных групп за 8-12 часов до воздействия ЭМП в течение 30 мин содержались при нулевой температуре.

На основании проведенных экспериментов установлены закономерности объемного роста животных, подвергавшихся действию ЭМП с гауссовым распределением энергии [9]:

1. Низкочастотное флуктуационное поле замедляет рост животных. Скорость роста достигает 0,13, 0,17, 0,53 в опытных группах и 0,54 - в контрольной. Максимальная разница в весе опытных и контрольных животных достигает 220%. Ингибирующее действие поля сказывается тем эффективнее, чем моложе животное к началу воздействия (рис. 9). С увеличением ширины спектра флуктуаций и эффективной частоты до 200 кГц эффект ингибирования ослабевает и затем меняется на обратный.

2. После нескольких сеансов облучения наблюдается стойкое понижение

Таблица 4. Динамика возрастного изменения параметров крови опытных животных

Возраст облученных животных, дни	Лейкоциты, тыс/мм^3		Эритроциты, млн/мм^3		Эозинофилы	
	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль
30	8,9	8,6	7,2	7,0	I62	I6I
60	7,6	7,8	7,3	5,3	I25	I68
90	8,2	5,6	7,6	6,I	I58	2I8
I20	7,8	9,3	6,8	7,8	I90	220

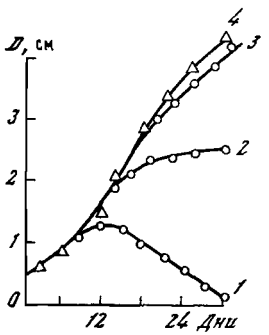
агрессивности животных. Под действием поля обнаружено наличие латентного периода, величина которого тем больше, чем моложе животное.

3. Действие флуктуационных ЭМП не вызывает патологических изменений в красной и белой крови животных. В опыте разброс показателей крови (табл. 4) достоверно меньший ($P < 0,05$), чем в контроле. Отсюда можно сделать вывод о стабилизирующем влиянии поля выбранных параметров на систему крови. У крысят опытных групп в течение эксперимента наблюдается снижение числа эозинофилов на I5 - 30% по сравнению с нормой.

На рис.I0 представлено изменение среднего диаметра опухолей (ретикулосаркома) при воздействии ЭМП в различные сроки после перевивки. Из графиков следует, что на ранних стадиях развития опухолей, характеризующихся более быстрым темпом роста, эффективность воздействия ЭМП выше. По прекращении воздействия (после I0-I5 сеансов) во всех опытных группах продолжалось торможение роста и регрессия новообразований, в то время как смертность в контроле достигала для различных штаммов 9I-I00%. У опытных животных с регрессировавшими опухолями в течение полугода рецидивов не наблюдалось. Патоморфологическое исследование опухолевой ткани опытных групп животных (опухоленосителей) в отличие от контроля показало наличие множественных коагулированных конгломератов видоизмененной опухолевой ткани, свидетельствующих об увеличении адгезии ряда опухолевых клеток под действием поля и, следовательно, об уменьшении межклеточного электростатического отталкивания, обусловленного повышенной плотностью отрицательного заряда наружных мембран опухолевых клеток. Наблюдается также уменьшение митотического индекса по сравнению с контролем в среднем в 3-3,2 раза (ретикулосаркома и карцинома Уокера) и в 2,7-3 раза (саркома-45), что свидетельствует о снижении частоты клеточных делений в опухолях, подвергнутых действию низкочастотных флуктуационных ЭМП. При увеличении частотных интервалов ЭМП свыше 200 кГц противоопухолевый эффект ослабевал. В полосе флуктуаций 6 МГц наблюдалось статистически недостоверное увеличение среднего диаметра опухолей, сопровождающееся более быстрым их некротизированием по

сравнению с контролем. Выживаемость этих крыс в индивидуальных опытах на 15-20% ниже, чем в контроле.

Явления регрессии и торможения роста опухолей коррелируют с результатами, полученными на эмбриональных тканях, скорость роста которых чрезвычайно высока. У беременных крыс линии Вистар, подвергнутых действию флуктуационных ЭМП в зародышевом и предплодном периоде[1], обнаруживается задержка эмбрионального развития и рассасывание эмбрионов.



Р и с. 10. Изменение среднего диаметра (Д) опухолей (ретикулосаркомы) в период опыта

I - воздействие флуктуационными полями начато на 2-й; 2 - на 10-й; 3 - на 17-й день после перевивки; 4 - контроль

Этот результат противоположен эффекту увеличения частоты митозов в культуре эмбриональной ткани, помещенной в сильное электростатическое поле, что объясняется [10] изменением репликации ДНК при поляризации ее ионных или электронных оболочек.

Опухолевые ткани, как известно, отличаются от гомологичных им нормальных тканей по ряду электрофизических параметров: пониженными значениями величины мембранного потенциала, коэффициента электростатической контактной связи и адгезионной способности, повышенной проницаемостью. Эти изменения обусловлены перестройкой "физического гомеостаза" клетки - интегральной системы, осуществляющей отклик на неспецифические воздействия и контролирующей процессы деления и дифференцировки [11]. Многие факторы, способные изменять нормальный ход митоза, в силу своей природы не могут оказывать прямого воздействия на генетические структуры; более вероятным представляется их действие через физический гомеостаз клетки.

Злокачественное перерождение клетки начинается с изменений контактных свойств мембран, уменьшающих чувствительность к регулирующим рост факторам и превращающих ткань в популяцию клеток. В этой связи представляют интерес факторы, приводящие к более тесному взаимодействию между клетками. В работе [12], например, показано, что эффект ингибирова-

[1] В эмбриогенезе один день жизни крысы эквивалентен в среднем 22,6 дням жизни человека [6].

ния роста в культуре клеток дрожжей может достигаться не накоплением продуктов метаболизма в питательной среде, а путем увеличения частоты столкновений между клетками. Под действием НЧ ЭП в опытах с культурами раковых клеток [13] наблюдается торможение роста, а также агрегация форменных элементов крови [14]. Эти данные целесообразно сопоставить с изменением поверхностного отрицательного заряда белково-липидных мембран микроорганизмов при торможении роста.

ЭМП являются неспецифическими индукторами, поэтому не стремясь анализировать роль ЭМП в функционировании разнообразных и сложных биохимических процессов, более естественно рассматривать влияние ЭМП на физический или ионный гомеостаз клетки, на который ЭМП оказывает непосредственное действие. Отметим ряд важных особенностей действия флуктуационных ЭМП, вытекающих из их стохастической природы. Усиливая флуктуации зарядовых компонент ионного гомеостаза (ионов, макромолекул), способных реагировать на данную частоту поля, флуктуационное ЭМП изменяет величину свободной энергии системы зарядов ионного гомеостаза. В состояниях, близких к равновесным, заряды слабо реагируют на случайные вариации свободной энергии. Функция корреляции φ системы, изменяясь по закону $\varphi \sim \xi^{-1} e^{-\xi r}$ [15], быстро затухает уже на расстояниях ξ, сравнимых с межмолекулярными промежутками. Однако в особых точках (фазовые переходы, переключения метаболических триггеров), определяемых условием $\kappa=0$, функция корреляции приобретает дальнодействующий характер, что эквивалентно увеличению кооперативности процесса и вовлечению в него ранее не участвующих компонентов ионного гомеостаза. Тогда зависящая от функции корреляции свободная энергия взаимодействующей с полем сиотемы будет значительно изменяться, что в свою очередь может приводить к изменениям процессов деления и роста клеток.

Таким образом, флуитуационные низкочастотные электрические поля с гауссовым спектральным распределением энергии обладают универсальным ингибирующим действием на нормальный и злокачественный рост, причем максимум этого действия приходится на период наибольших градиентов роста. Если системы нормального роста подчинены управляющим системам организма, то механизм деления опухолевых клеток в значительной мере выходит из-под контроля системы нейрогуморальной регуляции. Поэтому представляется вероятным воздействие поля непосредственно на биохимические процессы, с которыми связано митотическое деление раковой клетки, возможно, на нуклеиновый обмен.

Полученные результаты указывают на принципиальную возможность применения спектров высокоэнтропийных ЭМП в качестве митотического регулятора и одного из методов подавления развития опухоли.

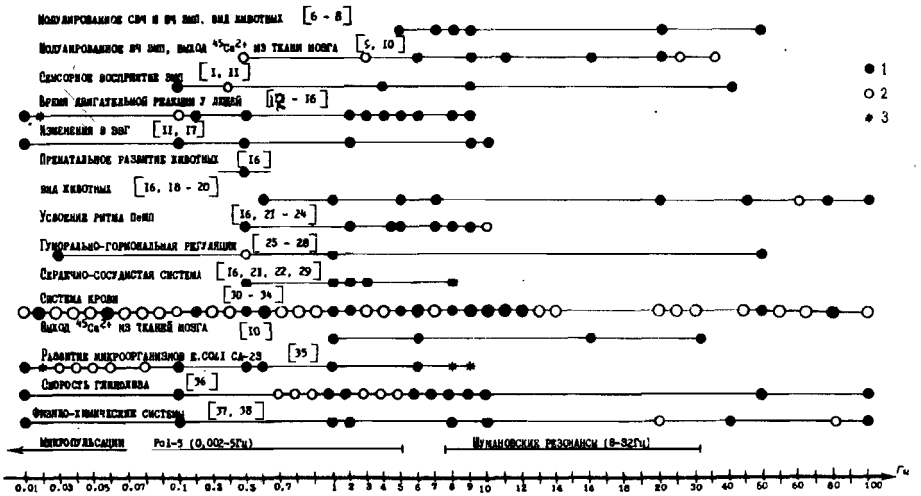
Литература

1. Kirwood J. Symposium on the Mechanism of Enzyme Action. John Hopkins Univ. Press, 1954; Discuss. Faraday Soc., 1955, vol.20, p.78-81.

2. Зырянов П.С. О природе сил взаимодействия между хромосомами. - Биофизика, 1961, т.6, с.495-498.
3. Баузр Э. Теоретическая биология. Л.: ВИЭМ, 1935. 205 с.
4. Miller S.L. Formation of organic compounds on the primitive Earth. - In: Oparin. The Origin of Life on Earth (ed.). L.: Pergamon, 1959, p.123-135.
5. Пресман А.С. Электромагнитная сигнализация в живой природе. М.: Сов. радио, 1974. 64 с.
6. Махинько В.И., Никитин В.Н. Константы роста и функциональные периоды развития в постнатальной жизни белых крыс. - В кн.: Молекулярные и физиологические механизмы возрастного развития. Киев: Наук.думка, 1975, с.308-325.
7. Шмальгаузен И.И. В кн.: Рост животных. М.; Л.: Биомедгиз, 1935, т.8, № 61, с.74-80.
8. Эмануэль Н.М. Актуальные вопросы современной онкологии. М.: Изд-во МГУ, 1968, № 1, с.17-29.
9. Юрьев В.Н., Красногорская Н.В. Влияние флуктуационных электромагнитных полей на процессы роста и бластомогенеза.-Бюллетень экспериментальной медицины и биологии, № 12, 1980, с.602-604.
10. Ладик Я. Квантовая биохимия. М.: Мир, 1975. 84 с.
11. Маленков А.Г. Ионный гомеостаз и автономное поведение опухоли. М.: Наука, 1976. 171 с.
12. Мажуль В.М., Конев С.В., Прокопова Ж.В. К вопросу о роли межклеточных контактов в регуляции функциональной активности дрожжевых клеток в культуре. - Цитология, 1974, т.16, № 8, с.1016-1018.
13. Knopp L. et al. The effect of low electrical frequencies various normal and malignant cells. - Tex. Kepts. Biol. and Med., vol.20, 1962, p.623-626.
14. Русяев В.Ф., Куксинский В.Е., Шефтель И.Е. Электрокинетические свойства форменных элементов крови при воздействии физических факторов. - Биофизика, 1976, т.21, № 4, с.679 - 683.
15. Ландау Л.Д., Лифшиц Л.М. Статистическая физика. М.: Гостехиздат, 1958. 400 с.

2.3. Физиологически активные инфранизкочастотные магнитные поля

Стремительные темпы развития радиоэлектроники и энергетики, широкое внедрение их достижений во все сферы человеческой деятельности привело к тому, что практически вся биосфера Земли стала в той или иной степени подвергаться воздействию ЭМП различных частот и напряженностей (см. т.I, гл.I, раздел 2). Исследования, проведенные различными авторами [1-4], не оставляют сомнений в наличии влияния электрических и магнитных полей различных частот и напряженностей на биологические системы. Особое значение имеет изучение действия ЭМП инфранизких частот естест-



Р и с. II. Спектр действия МП ИНЧ по литературным данным на 1979 г.

Эффекты действия ЭМП: I - обнаружены; 2 - не обнаружены; 3 - противоречивы.

венного и искусственного происхождения, обладающих выраженной биологической активностью. Являясь фактором, непрерывно сопутствующим эволюции биосферы, эти поля, по мнению многих исследователей [4,5,21], являются связывающим звеном между физическими процессами в ближайшем космическом пространстве и явлениями, которые возникают в биосфере в ответ на изменения физической среды. К настоящему времени накоплены достаточно убедительные экспериментальные данные, свидетельствующие о биологической активности переменных МП от десятых долей мкТл до мТл (рис. II). Однако систематических исследований биологического действия МП в диапазоне 0,01-100 Гц не проводилось. В связи с этим мы поставили задачу изучить биологическое действие МП ИНЧ в диапазоне 0,01-100 Гц на систему крови и на основе этих исследований выявить физиологически активные диапазоны частот.

Переменное ИНЧ МП создавалось кольцами Гельмгольца, обеспечивающими однородное до 5% МП в зоне расположения экспериментальных животных. Кольца подключались к генератору НГПК-3 м. Амплитуда тока в кольцах, равная 10 мА, обеспечивала напряженность поля в рабочем объеме колец 4,06 А/м (5100 гамм). Контроль формы протекающего тока осуществлялся осциллографом Н-303, а величина тока контролировалась миллиамперметром М 2020. Оценка всех составляющих погрешностей аппаратуры показала, что контроль амплитуды и частоты поля внутри камеры можно произвести с точностью не ниже 3,5% от их номинального значения. Вектор колебания МП располагался в горизонтальной плоскости. Эксперименты проводились в камере объемом (4x4x2,3) $м^3$, экранированной 4-слойным листовым же-

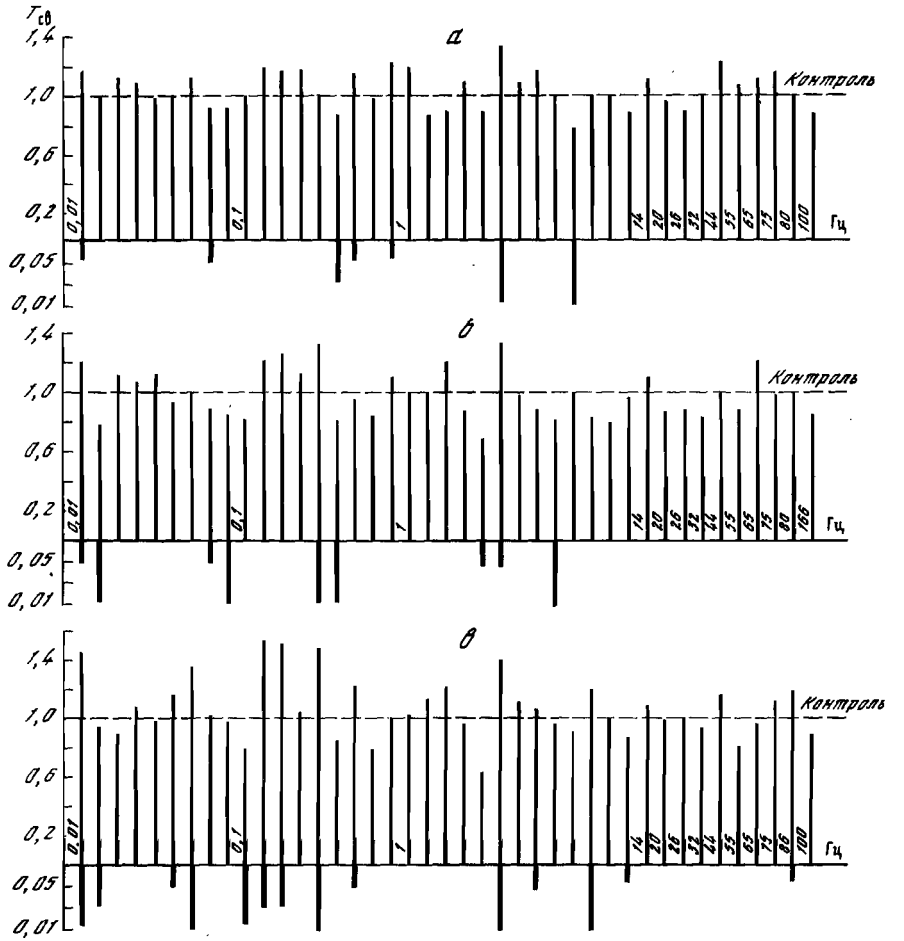
лезом "Динамо", ослабляющим влияние внешних ЭМП более чем в 12 раз. Исследовалось влияние трех значений амплитуды МП: 4,06; $4{,}06 \cdot 10^{-2}$, и $4{,}06 \cdot 10^{-3}$ А/м, что достигалось расположением экспериментальных групп животных на расстояниях от колец, обеспечивающих затухание МП в 100 и 1000 раз. Время "облучения" во всех экспериментах - 3 часа. Контрольная группа животных во время проведения эксперимента находилась в другой экранированной камере.

В первой серии экспериментов исследовано влияние МП с прямоугольной разнополярной формой импульсов в диапазонах частот: в 0,01-0,1 Гц (шаг квантования к=0,01 Гц); 0,1-1 Гц (к=0,1 Гц), 1-14 Гц (к=1 Гц) и на частотах 20; 26; 32; 44; 55; 65; 75; 81 и 100 Гц. Вторая серия экспериментов с увеличенным числом регистрируемых показателей была повторена на частотах 0,02; 0,06-0,07; 0,1-0,2; 0,4-0,7; 1-2; 5-6; 8-14; 65 и 80 Гц, отнесенных (в результате анализа полученных данных по первой серии) к числу физиологически активных. Третья серия экспериментов проведена при синусоидальной форме МП на частотах 0,02; 0,06; 0,5-0,7; 5-6; 8-12 и 80 Гц, отнесенных по результатам экспериментов первых двух серий к физиологически активным.

Четвертая серия опытов проводилась на крысах, у которых была вызвана экспериментальная эмфизема легких папаином [39,40]. Крысы поставлялись из питомника лабораторных животных "Рапполово", Ленинградской обл. Крысы с папаиновой эмфиземой (20 шт.) и соответствующая им группа интактных животных (20 шт.) ежедневно в течение 20 дней по 3 часа подвергались действию МП частотой 8 Гц напряженностью 4,06 А/м. Каждые 3 дня из хвостовой вены бралась кровь для исследования. Животных помещали в специальные пеналы из оргстекла, ориентирующих их тела вдоль вектора МП, по 5-10 особей в каждом. Первая серия проведена на беспородных половозрелых белых крысах-самцах, весом 200-220 г (1250 особей), вторая, третья и четвртая серии - на самцах линии Вистар весом 180-200 г (1300 особей). Для суждения о биологической эффективности переменного МП определялись следующие показатели: число лейкоцитов в периферической крови, лейкоцитарная формула, активность пероксидазы, неферментных катионных белков в нейтрофилах периферической крови, титр комплемента, содержание лизоцима в сыворотке крови и начало времени ее свертывания.

На ЭВМ ЕС-1020 проведен дисперсионный однофакторный анализ, использованы непараметрический критерий Ван-дер-Вардена, критерий Стьюдента для оценки доверительных интервалов и многомерный дискриминантный анализ.

Результаты первой серии экспериментов по изучению влияния МП на некоторые показатели системы крови приведены на рис.12-14. Все данные представлены в относительных единицах к результатам, полученным у контрольных групп животных. Уровень значимости, вычисленный по Ван-дер-Вардену, представлен в виде более толстой линии, направленной вниз.



Р и с 12. Относительные изменения начала времени свертывания крови ($T_{св}$) при воздействии переменного МП ИНЧ
а - напряженность МП - $4{,}06 \cdot 10^{-3}$ А/м; б - $4{,}06 \cdot 10^{-2}$ А/м; в - 4,06 А/м

На рисунках приведены значения уровня значимости только для тех частот, для которых $P < 0{,}05$. Верхние графики соответствуют данным, полученным при напряженности МП $H = 4{,}06 \cdot 10^{-3}$ А/м, средние для $H = 4{,}06 \cdot 10^{-2}$ А/м и нижние для $H = 4{,}06$ А/м.

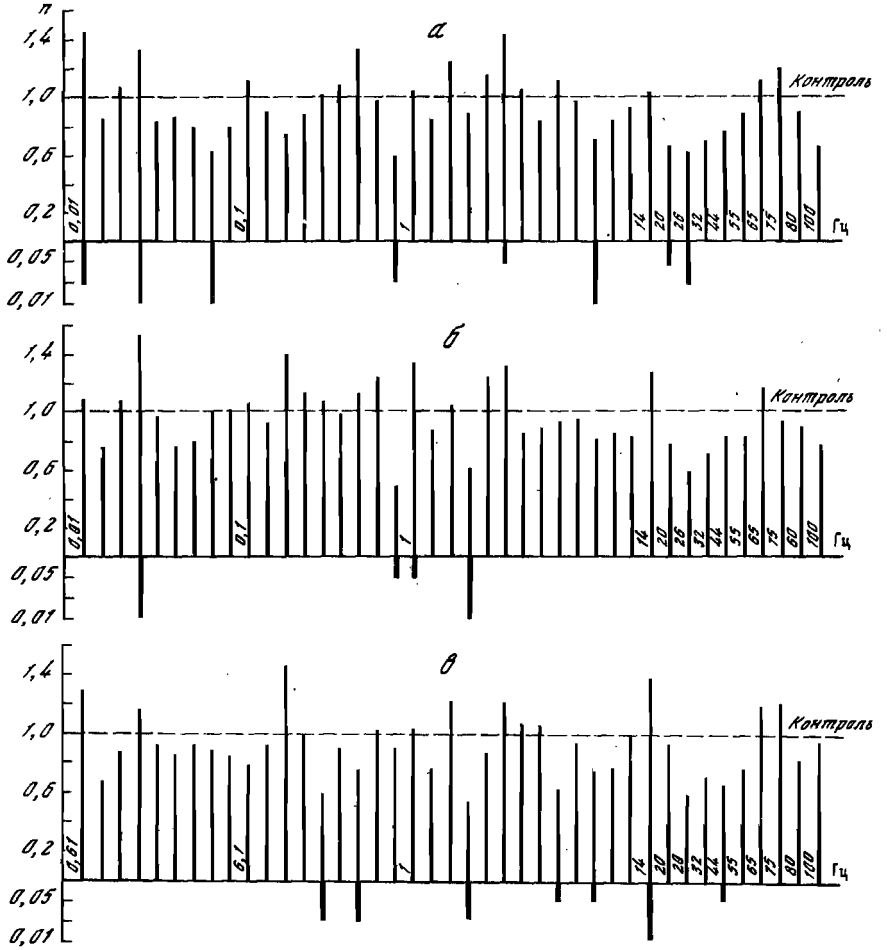
Исследование действия МП на свертывающую и антисвертывающую систему крови представляет большой интерес в связи с тем, что к настоящему времени накоплен значительный экспериментальный и клинический материал, указывающий на наличие такого влияния для отдельных частот [33,34].

Однако отсутствие данных о частотной зависимости физиологического эффекта МП в диапазоне ИНЧ тормозит использование полей этого диапазона в клинике. Начало времени свертывания ($T_{св}$), являясь по своей природе интегральной оценкой взаимодействия свертывающей и антисвертывающей систем крови, в сочетании с методической простотой его определения оказалось чувствительным индикатором биологической активности МП.

Анализ полученных результатов показал, что $T_{св}$ крови зависит как от частоты действующего МП, так и от его напряженности (рис.I2). МП частотой 0,0I; 0,06-0,07; 0,2-0,3; 0,5-0,7; 0,9; 6; 8; II и 80 Гц в целом вызывает увеличение $T_{св}$, а частоты 0,02; 0,08-0,I; 5; 8-I0 и I3 Гц его уменьшение. Зависимость $T_{св}$ от напряженности поля носит более сложный характер. Для частот 0,0I; 0,06; 0,08; 0,2-0,3; 0,5 и 80 Гц с увеличением напряженности поля $T_{св}$ увеличивается, а для частот 0,02; 0,09-0,I; 0,9; 5 и 8-9 Гц - уменьшается. Для остальных частот зависимость времени свертывания крови от напряженности нелинейно связана с наличием экстремума между крайними значениями исследованных напряженностей полей.

Исследования влияния МП на изменения числа лейкоцитов (рис.I3) в периферической крови животных показали, что для белой крови, как правило, характерно наличие лейкопении, которая была более выражена при больших напряженностях полей. Изменения в составе лейкоцитарной формулы в силу большой дисперсии результатов чаще носили недостоверный характер, что объясняется широким диапазоном индивидуальной изменчивости исследуемых показателей у крыс. Следовательно, морфологические характеристики белой крови крыс не могут иметь самостоятельного значения для оценки наличия реакции организма на воздействие МП исследованных характеристик. Эти тесты можно использовать лишь как дополнительные, уточняющие картину физиологических реакций. Оценка влияния МП на ПО и КБ в нейтрофилах периферической крови позволила получить результаты, которые могут быть положены в основу механизма изменения неспецифической реактивности организма при воздействии МП. Как известно, лейкоцитарная ПО вместе с перекисью водорода и йодом образует в нейтрофилах мощную антибактериальную систему, эффективность которой вместе с КБ значительно выше эффекта действия составляющих ее компонентов. Полученные данные свидетельствуют о том, что активность ПО и количество КБ существенно зависят от параметров МП. Частоты 0,02; 0,06 и I0-II Гц вызывают одновременное увеличение ПО и КБ, а частоты 8-9 Гц их уменьшение. На остальных частотах изменения ПО и КБ разнонаправленны. Зависимость изменения ПО и КБ в нейтрофилах крови от напряженности поля носит нелинейный характер. Увеличение напряженности МП от $4{,}06 \cdot 10^{-3}$ до 4,06 А/м вызывает одновременное увеличение ПО и КБ на частоте 0,02 Гц и уменьшение на частотах 8-9 Гц.

Изучение динамики содержания комплемента (СК) и содержания лизоцима (СЛ), проведенное в третьей серии экспериментов, выявило монотонный характер изменения этих показателей, за исключением частоты 0,02 Гц,



Р и с. I3. Относительные изменения числа лейкоцитов (n) в периферической крови при воздействии МП ИНЧ

а,б,в - то же, что и на рис. I2

где наблюдалось увеличение СК и СЛ по сравнению с контролем, на всех остальных частотах происходило их уменьшение. Изменение СК и СЛ в зависимости от напряженности МП носит также монотонный характер. При увеличении напряженности поля от $4{,}06 \cdot 10^{-3}$ до 4,06 А/м СК и СЛ, как правило, уменьшается.

Анализ полученных данных с точки зрения реакций целостного организма на воздействие МП позволил выделить частоты 0,02 и 8 Гц при Н = 4,06 А/м. Под влиянием МП частотой 0,02 Гц отчетливо возрастают показатели ПО и КБ, увеличивается содержание СК и СЛ в сыворотке крови,

уменьшается $T_{св}$. Эти явления протекают на фоне лейкопении с наличием сдвига лейкоцитарной формулы вправо. При исследовании белковых фракций сыворотки крови обнаружена тенденция к возрастанию гамма-глобулинов при достоверном уменьшении содержания альбуминов. В целом наблюдаемые изменения свидетельствуют об активирующем действии МП частотой 0,02 Гц и усилении иммунологической устойчивости организма.

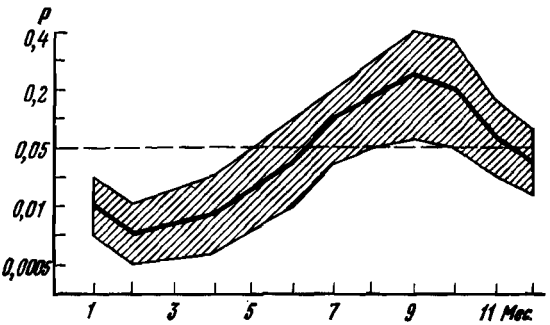
При действии МП 8 Гц наблюдаются явления, в целом противоположные описанным выше, т.е. снижение неспецифической резистентности. Увеличение $T_{св}$ сопровождается уменьшением показателей ПО и КБ, а также СК и СЛ. Эти явления протекают на фоне слабовыраженного лейкоцитоза без изменений в лейкоцитарной формуле. Обнаружена диспротеинемия при более значительном снижении содержания альбумина, которое происходит за счет увеличения α и β-глобулинов. Имеет место тенденция к снижению γ-глобулинов, достоверно уменьшается активность протеаз, а показатели щелочной фосфатазы и кислой фосфатазы в нейтрофилах периферической крови практически не меняются.

Таким образом, при действии МП частотой 8 Гц наблюдается угнетение бактерицидных систем нейтрофилов. В пользу развиваемых представлений о снижении реактивности организма под влиянием МП частотой 8 Гц свидетельствуют результаты исследований, проведенных на крысах с папаиновой эмфиземой. Снижение цитохимических показателей содержания КБ и ПО в нейтрофилах периферической крови этих животных было гораздо более четко выражено, чем у интактных. Признаки эмфиземы легких у этих крыс регистрировались раньше, чем у животных, не находившихся в МП. Одним из возможных путей активирующего или угнетающего действия МП на организм, в зависимости от его параметров, может быть развитие адаптационных реакций, классификация которых предложена в [26,27].

Если при воздействии МП частотой 0,02 или 8 Гц наблюдались, как правило, разнонаправленные сдвиги изучаемых показателей, позволяющие рассматривать их в рамках известных физиологических концепций, то при других частотах изменение показателей носило более сложный характер. Например, в диапазоне 0,5-0,7 Гц повышение $T_{св}$ и ПО сопровождается снижением КБ, а также СК и СЛ. Изменения в лейкоцитарной формуле неоднозначны. Наблюдаемые изменения несомненно свидетельствуют о наличии достоверного влияния переменного МП, однако сделать какие-либо выводы об изменении неспецифической реактивности не представляется возможным. По-видимому период регистрации (через 3 часа после начала "облучения") был недостаточным для развития в организме нового устойчивого состояния под действием раздражителя, вследствие чего регистрировались некоторые переходные этапы из одного функционального состояния в другое.

Изменение внешних условий проведения экспериментов также отражается на характере реакции организма на воздействие МП. Один из экспериментов при частоте 0,6 Гц был повторен при повышенной температуре окружающего воздуха (31,5±0,5°С), $T_{св}$ при этом достоверно изменилось в противоположную сторону по отношению к результатам, полученным на той же

частоте при температуре воздуха 20±3°С. О зависимости реакции организма от его исходного функционального состояния свидетельствует и полученная в данной работе связь воспроизводимости экспериментов с сезоном года (рис.I4). Как известно, конец лета и начало осени является периодом, когда организм обладает максимальной резистентностью к большинству факторов внешней среды [4I]. Поэтому можно предположить, что в этот период года МП не является достаточно эффективным фактором, способным



Р и с. I4. Изменение уровня значимости Р реакции организма при воздействии МП в зависимости от времени года

отклонять физиологические показатели здорового организма на значительную (регистрируемую) величину. Видимо, в этот период целесообразно использовать более чувствительные тесты или проводить исследования на организмах, адаптационные возможности которых снижены искусственным путем.

Сравнение эффективности действия полей прямоугольной и синусоидальной форм при прочих равных условиях указывает на большую эффективность первых. Это выражалось в более значительных отклонениях изучаемых показателей от контрольных, что имеет некоторое теоретическое обоснование, выполненное с биофизических позиций /42/.

Таким образом, на основании исследований чувствительности крови на воздействие МП ИНЧ в диапазоне 0,0I-I00 Гц установлены физиологически активные частоты: 0,2 Гц; 0,06 Гц; 0,5-0,6 Гц; 5-6 Гц; 8-I2 Гц и 80 Гц. МП этих частот оказывают статистически достоверные изменения в содержании пероксидазы и неферментных катионных белков в нейтрофилах периферической крови, комплемента и лизоцима в сыворотке крови, а также в начальном периоде свертывания крови.

Литература

I. Холодов Ю.А., Шишло М.А. Электрические поля в нейрофизиологии. М.: Наука, I979. I67 с.
2. Евтушенко Г.И., Колодуб Ф.А., Островская И.С., Максименко Н.В. Влияние импульсного электромагнитного поля низкой частоты на организм. Киев : Здоровья, I978. I30 с.
3. Лазаревич В.Г. Влияние электромагнитных полей на обмен веществ в организме. Львов: Вища школа, I978. I93 с.

4. Травкин М.П. Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. – Матер. 2-го Всесоюз. симпоз. Белгород: Гос. пед. ин-т, 1973, 173 с.
5. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 288 с.
6. Баньков В.Н. Получение экспериментального сна у кошек путем воздействия низкочастотного модулированного электромагнитного поля.-Бюл. эксперим. биологии, 1972, т. 74, № 9, с. 14-18.
7. Судаков К.Б., Антимоний Г.Д. О гипногенном действии модулированного электромагнитного поля.-Бюл. эксперим. биологии и медицины, 1977, т. 84, № 8, с. 146-149.
8. Антимоний Г.Д., Бадиков В.И., Кель А.А. и др. Изменение реакции самораздражения у крыс при действии модулированного электромагнитного поля.-Бюл. эксперим. биологии, 1976, т. 82, № 10, с. 1163-1165.
9. Blackman C.F. et al. Intern. Symposium on Biol. Effects of E.M.Waves, Aizlie, Virginia,USA,1977,p.59-62.
10. Эйди Г.Р. Доказательство функционального значения внешних и внутренних электрических низкочастотных полей для деятельности ткани мозга.-В кн.: Функциональное значение электрических процессов головного мозга. М.: Наука, 1977, с. 395-402.
11. Михайловский В.Н., Красногорский Н.Н., Войчишин К.С. и др. О восприятии людьми слабых магнитных полей.-Докл. АН УССР, Серия биол., 1969, № 10, с. 929-933.
12. Сахаров И.В. Изучение сенсомоторных реакций у операторов в слабом ИНЧ ПеМП.-В кн.: Актуальные вопросы магнитобиологии. Симферополь, 1979, с. 29-30.
13. König H., Ankermuller F. Über den Einflus besonders niederfrequenter elektrischer Vorgänge in der Atmosphaere auf den Menschen.-Naturwiss. 1960, Ig.47, N21, S.486-490.
14. Friedman H., Becker R., Bachman C. Effect of Magnetic Field on Reaction Time Performance.-Nature,1967,v.213,N5451,p.949-952.
15. Hamer J.R. Effects of low level, low frequency electric field on human reaction time.-Communication Behav. Biol., 1968, part 12, p.217-221.
16. Persinger M.A. ELF and VLF electromagnetic field effects. New-York, London; Plenum Press, 1974, 311p.
17. Михайлова-Лукашева В.Д., Скрипаль А.В., Мельникова В.П. и др. К исследованию влияния слабых перепадов электромагнитных полей на человека.-Докл. АН БССР, 1972, т. 16, № 12, с. 1147-1149.
18. Атаев М.М. О взаимоотношении изменений напряженности внешнего электромагнитного поля и "напряженности" нервного возбуждения в центральной нервной системе.-Изв. АН СССР, Сер. биол., 1972, № 1, с. 119-122.
19. Gavalas-Medici R.J., Day-Magdaleno S.R. ELF weak electric fields effect schedule-controlled behavior of monkeys.-Nature, 1976, v.261, N4131, p.256-260.

20. Сидякин В.Г., Князева Т.И., Янова Н.П. Сравнительно-физиологическое исследование поведенческих реакций у животных при действии электромагнитного поля как экологического фактора.-В кн.: Адаптации на разных уровнях биологической организации. Сыктывкар, 1982, т. 2, с. 138-139.

21. Волынский А.М., Владимирский Б.М. Моделирование воздействия магнитной бури на млекопитающих.-В кн.: Солнечно-земная физика. М., 1969, вып. 1, с. 294-297.

22. Волынский А.М., Бродовская З.И., Темурьянц Н.А. и др. К изучению действия электромагнитных полей низкой частоты на различные системы организма животных.-В кн.: Адаптация организма при физических воздействиях. Вильнюс, 1969, с. 256-259.

23. Войтинский Е.Я., Гендельс Б.С., Гольцман Б.И. О влиянии слабого магнитного поля на электрическую активность мозга.-В кн.: Магнитное поле и медицина. Фрунзе; Кирг. гос. пед. ин-т, 1974, с.21-22.

24. Wever R. Einflus schwascher elektromagnetischer Felder auf die circadiane Periodik des Menschen.Naturwiss.,1968,55,N1,s.29-32.

25. Гашникова Л.И., Бордюшков Ю.Н., Квакина Е.Б. Об изменении функций щитовидной железы под влиянием магнитных полей.-В кн.: Реакции биологических систем на слабые магнитные поля. М. : Наука, 1971, с. 135-137.

26. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б. О принципах периодичности в реакции организма на магнитные поля как неспецифический раздражитель.-В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. Калининград, Гос. ун-т, 1975, с.18-19.

27. Квакина Е.Б., Николаева В.И., Уколова М.А. О характере неспецифической реакции организма в ответ на длительное воздействие низкочастотным переменным магнитным полем.-В кн.: Реакция биологических систем на слабые магнитные поля. М.: Наука, 1971, с. 122-124.

28. Lafreniere G.F., Persinger M.S. Thyroid Morphology and Activity does not Respond to ELF electromagnetic field exposures.-Experientia, 1979,v,35, N4, p.561-565.

29. Чегодарь А.Я. Влияние электромагнитных полей низкой частоты различной напряженности на сердечно-сосудистую систему животных: Автореф. дис...канд. мед.наук. Симферополь: Мед.ин-т, 1972, 17 с.

30. Темурьянц Н.А. Влияние слабых электромагнитных полей сверхнизкой частоты на морфологию и некоторые показатели метаболизма лейкоцитов периферической крови животных: Автореф. дис...канд. мед. наук. Симферополь; Мед. ин-т, 1971, 19 с.

31. Темурьянц Н.А., Кривошеин Ю.С., Тишкин О.Г. Влияние слабого магнитного поля на функциональную активность нейтрофилов периферической крови.-В кн.:Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Белгород, 1973, с. 64-66.

32. Музалевская Н.И., Шумков Г.Д. Исследование биотропности параметров слабого магнитного поля диапазона сверхнизких частот.-В кн.:Реакция

биологических систем на магнитные поля.М.:Наука,1978, с.199-208.
33.Куксинский В.Е., Русяев В.Ф., Мулындина Г.И. Влияние электромагнитных полей на коагулогические свойства форменных элементов крови.-В кн.:Матер. II науч. конф. молодых ученых.Чита:Мед. ин-т,1974, с. 129-132.
34.Русяев В.Ф., Куксинский В.Е. Изучение действия электромагнитного поля на коагулогические и фибринологические свойства крови.-Биофизика, 1973, т. 18, вып. 1, с. 160-163.
35.Ачкасова Ю.Н.,Брызгунова Н.И.,Сарачан Т.А.,Пяткин К.Д. Влияние на жизнедеятельность микроорганизмов электромагнитных полей, близких к естественным:В кн.:Физико-математические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха.М.:Наука,1975,т.2,с. 131-133.
36.Мигалкин И.В., Калюжин В.А., Карташев А.Г. Некоторые закономерности влияния магнитных полей на сбраживание глюкозы дрожжевыми грибками.-В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1979, вып. 2, с. 65-68.
37.Опалинская А.П.,Агулова Л.П. Исследование влияния магнитных полей сверхнизких и низких частот на ход неравновесных процессов.-В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск;ТГУ, 1978, с.19-24.
38.Агулова Л.П. Исследование действия слабого магнитного поля сверхнизкой частоты на автоколебательную химическую реакцию.-В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск; ТГУ, 1979, вып. 2, с. 116-119.
39.Тишкин О.Г. Роль протеаз и их ингибиторов в патогенезе ингибиторов легких.-Архив патологии, 1979, т. 41, № 3, с. 66-70.
40.Тишкин О.Г. Экспериментальное повреждение легких папаином.-В кн.: Морфогенез и регенерация. Тр. Крымск. мед. ин-та, Симферополь: т. 75, 1978, с. 115-116.
41.Голиков А.П. Сезонные ритмы в физиологии и патологии. М.: Медицина, 1973. 156 с.
42.Берлин Ю.В., Бувин Г.М., Белькевич В.И. и др. Некоторые особенности действия импульсных магнитных полей на электропроводные жидкости и биологические системы.-В кн.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, с. 33-48.

2.4. Избирательная чувствительность бактерий к инфранизкочастотным магнитным полям

С целью выявления биологического действия возмущений геомагнитного поля в модельных экспериментах исследовано влияние на эшерихии синусоидального МП с частотами 0,01; 0,1; 1,0; 8 Гц, с индукцией 10; 50; 100; 200 нТл; поставлена серия экспериментов по изучению биологической активности импульсного магнитного поля (ИМП) с частотами 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,08; 0,1 Гц с индукцией 10; 50; 100; 200 нТл; и 1,0; 6,0; 9,0 Гц - 200 нТл.

Указанные поля создавались кольцами Гельмгольца, установленными в отдельных термостатах. На кольца подавались сигналы от генераторов Г3-I6 и собранного по микросхеме типа К2844 ДIВ.

Экспериментальной моделью выбран эталонный штамм эшерихии, у которого после четырехчасового культивирования в условиях МП определялась скорость размножения, ферментативная активность, передача генетической информации в конъюгации в условиях поля и в контроле. Всего поставлено 573 опыта, сделаны и статистически обработаны данные высевов из 9596 проб.

Установлено, что синусоидальные МП тормозят накопление числа особей в экспоненциальной фазе размножения. Однако продолжительность фаз одинакова в контроле и в опыте. Наблюдаемое угнетение в среднем равнозначно при всех исследованных напряженностях на одной и той же частоте, что приводит к заключению об отсутствии зависимости эффекта от напряженности МП.

В синусоидальном переменном МП выделена частота 0,0I Гц, на которой при В=I0 нТл эффект угнетения скорости размножения состевляет 37,7% по отношению к контролю, принятому за I00%. Изменения генотипа у эшерихии МП не вызывает.

Импульсные МП на каждой из исследованных частот (от 0,0I до 0,06 Гц и на 0,08, 0,I Гц), как и синусоидальные МП различной напряженности, значительно снижали жизнедеятельность эшерихий, угнетая скорость их деления в экспоненциальной фазе роста. Выделены наиболее эффективные частоты - 0,02, I и 6 Гц. Зависимость от напряженности не прослеживалась. В импульсных МП, характеризующихся биологической активностью, среди испытанных I00 000 колоний эшерихий не отмечено появления ауксотрофных и лактозоотрицательных мутантов. Ферментация углеводов в опыте и контроле была сравнительно одинаковой.

Таким образом, эшерихии бактерии избирательно реагируют на определенные низкочастотные параметры синусоидального и импульсного МП уменьшением скорости размножения.

2.5. Реакции человека при воздействии на кожу светом различного спектрального состава

Вопрос неадекватного восприятия человеком светового раздражителя уже много лет волнует ученых [1]. Несмотря на то, что наличие в коже человека участков, чувствительных к электромагнитному излучению видимой области спектра, доказано многими исследователями [2-5], единого мнения о механизме кожно-оптического эффекта не существует. Мы провели массовые эксперименты с применением объективного метода исследования кожно-оптической чувствительности, предложенного в работах [5,6].

Известно, что при действии на глаз испытуемого мелькающим светом в ЭЭГ возникают ритмы, закономерно связанные с частотой световых мельканий [7-9]. Аналогичная реакция (однако выраженная слабее) наблюдается

и при действии слуховых и тактильных ритмических раздражителей [10-12]. В чувствительности кожи человека к свету подобный эффект тоже наблюдается [5,13,14].

В настоящей работе приводятся результаты экспериментов в двух областях видимой части спектра (красной и синей), а также в ультрафиолетовой области. В исследованиях использована методика проведения экспериментов для изучения кожно-оптического эффекта с применением реакции наведенных ритмов [5,13]. Испытуемый с закрытыми глазами находился в экранированной затемненной камере в положении сидя; на ладонь его правой руки, помещенной в светонепроницаемый металлический фотостимулятор, действовали прерывистым светом с частотой 8 либо 12 Гц, обеспечиваемой вращением перед источником излучения дисков с определенным числом отверстий (соответствующим частоте стимуляции), причем на пути светового луча помещались светофильтры, выделяющие необходимый участок спектра. Видеть мелькания света испытуемые не имели возможности, что обеспечивалось полной светонепроницаемостью фотостимулятора.

В первой серии опытов [14] свет электрической лампочки пропускался через водяной (тепловой) фильтр, во второй и в третьей сериях дополнительно применялись светофильтры КС-2 с полосой пропускания 600-2800 мкм и СС-8 с полосой пропускания 360-520 мкм; в четвертой серии использовалось ультрафиолетовое излучение. Для сопоставления результатов различных серий, освещенность пятна (R=1,9 см) на ладони испытуемых во всех экспериментах была одинаковой.

Одновременно с наведением ритма светостимуляции в течение 30-50 с регистрировалась биоэлектрическая активность мозга испытуемого в следующем порядке: делалась фоновая запись в рабочем режиме, затем включался источник света и записывалась биоэлектрическая активность мозга сразу после включения фотостимулятора и через 5 и 10 мин действия прерывистого света. После 10 мин стимуляции снова записывали фон. ЭЭГ регистрировалась монополярно в двух затылочных и двух теменных отведениях.

Работа проводилась с группой в 208 человек. Первичная обработка кривых ЭЭГ проводилась визуально "слепым методом", т.е. считывающий не участвовал в эксперименте и не знал, с каким участком записи (фон, стимуляция, фильтр) он имеет дело. При визуальной обработке на кривой ЭЭГ, соответствующей каждому эксперименту, выбирались (в зависимости от выраженности α-ритма) по возможности чистые, свободные от артефактов и всех других частот (кроме α-ритма) участки длительностью 2-10 с и по ним определялась усредненная частота ЭЭГ (подсчитывалась полусумма чисел положительных и отрицательных амплитудных значений, отнесенная к единице времени). Результаты описанной визуальной обработки независимо от фоновой частоты и частоты стимуляции сопоставляли путем вычисления коэффициента навязывания ритма К, отражающего степень сбли-

ц а 5. Значения коэффициентов навязывания ритма для теменных и затылочных отведений

8 Гц						I2 Гц			
ПТ			ЛТ			ПТ			ЛТ
СС	УФ	КС	СС	УФ	КС	СС	УФ	КС	СС
Теменные отведения									
0,93**	0,8I	0,95*	0,92*	0,92***	0,93*	0,84	0,85	0,90	0,98**
0,88	0,78	0,87	0,96**	0,87*	0,87	0,85*	0,84	0,84	0,93**
0,86	0,64	0,82	0,85	0,8I*	0,94*	0,8I	0,72	0,86**	0,90
Затылочные отведения									
0.98**	0,99***	0,94**	0,89**	I,I0***	0,90**	0,94**	I,04***	0,87	0,84**
0,89**	I,00***	0,86	0,89**	I,00***	0,88*	0,95**	I,07***	0,84	0,83*
0,95**	0,95***	0,88*	0,88**	I,03***	0,89	0,85**	I,0I***	0,85	0,94**

P 0,99;

P 0,95;

9.

ных значений достоверность не меньше, чем 0,99.

жения регистрируемого ритма со стимулирующим

$$K = \frac{f_{оп} - f_{ст}}{f_{ф} - f_{ст}}, \qquad (I)$$

где $f_{ф}$ - фоновая частота ритма энцефалограммы, которая изменилась до частоты $f_{оп}$ во время стимуляции светом с частотой $f_{ст}$.

Из формулы (I) видно, что при $K < I$ наблюдается сближение частот; при $K = I$ стимуляция не влияет на частоту фоновой кривой, а при $K > I$ наблюдается расхождение наводимой и регистрируемой частот. Для обработки результатов эксперимента была составлена программа для ЭВМ, позволяющая определять достоверность отличия опытной частоты от частоты фона, достоверность положительности отклонения и достоверность отличия К от единицы (т.е. достоверность наличия эффекта наведения или противоположного эффекта) на основе критерия Стьюдента.

Результаты статистической обработки экспериментов приведены в табл.5, где указаны значения коэффициента навязывания ритма при различной длительности стимуляции: 5-I0 с (K_0), 5 мин (K_5) и I0 мин (K_{I0}), а также достоверность отличия К от единицы.

Для теменных отведений - правого (ПТ) и левого (ЛТ) - эффект прослеживается наиболее четко для всех исследованных участков спектра: синего (СС), красного (КС) и ультрафиолетового (УФ). Наилучшие значения К получены для "ультрафиолетовой серии" в правом отведении, причем величина К оказалась заметно меньше, чем для "красной" и "синей" серий. В то же время в левом отведении результаты мало зависят от спектральной характеристики излучения. Для затылочных отведений (см. табл.5) в УФ диапазоне эффект сближения ритмов отсутствует полностью ($K \sim I$), для синего наблюдается с невысоким уровнем достоверности ($P < 0,9$) и лишь для красного света значения коэффициента К близки к полученным в теменных отведениях как по величине, так и по достоверности их отличия от единицы.

Ярко выраженная локализация усвоения ритма для УФ-излучения и ее отсутствие для более длинноволнового излучения придает дополнительный интерес исследованию эффекта в диапазоне инфракрасного излучения.

Литература

I. Кирсанова А.А. Кожная чувствительность человека к видимым и инфракрасным лучам:(Библиография). - В кн.: Ленинская теория отражения и проблемы психологии. Свердловск: Уральский гос.университет им. Горького, I973, сб.2, с.84-92.

2. Познанский Н.Б. Кожная чувствительность к видимому и инфракрасному облучению. - Физиол.журн., I938, т.24, вып.4, с.228-30I.

3. Гольдберг И.М. Исследование проникающей способности кожно-оптического чувства. - В кн.: Вопросы психологии личности и познания. Нижний Тагил, I966, с.I2-I6.

4. Проблемы кожно-оптической чувствительности. Свердловск: сб.38, I965, I28с.

5. Плеханов Г.Ф., Денисов В.Н. Выявление локализации усвоения α-рит-

ма ЭЭГ при действии на кожу руки человека прерывистого света. М.: ВИНИТИ, 1970, с.26-28.
6. Коларова З.И., Мирзоянц Н.С. Неспецифическая реакция кожного анализатора на световое раздражение у детей раннего возраста. - В кн.: Вопросы психологии личности и познания. Свердловск: СГПИ, 1966, с.65-69.
7. Копылов А.Г. Особенности ЭЭГ-реакций на световые ритмические раздражения: Автореф. дис.... канд.биол.наук Л.: ЛГУ им.Жданова, 1957, с.19-20.
8. Ильянок В.А. Влияние частоты ритмического светового раздражителя на гармонический состав реакции усвоения ритмов мозгом человека. - Журн. высш. нерв. деятельности им. И.П.Павлова, 1967, т.17, вып.2, с.304-312.
9. Данилова Н.Н. Реакция головного мозга в ответ на световые мелькания, совпадающие с диапазоном α-ритма. - Журн.высш.нерв.деятельности им. И.П.Павлова, 1961, т.11, вып.1, с.12-21.
10. Ливанов М.Н. О ритмических раздражениях и взаимоотношении полей в коре головного мозга. - Физиол. журн. им. И.М.Сеченова, 1940, т.28, вып.2-3, с.183.
11. Макарова Л.Г. Биоэлектрические реакции здоровых людей на световые и светозвуковые ритмические воздействия. - Бюл. эксперим. биологии и медицины, 1962, т.54, № 12, с.7-12.
12. Walter V.J., Walter W.G. The central effect of phithmic sensory stimulation. - EEG Clin.Neurophysiol., 1949, vol. 12, p. 57.
13. Лысенко Н.Н., Плеханов Г.Ф. Определение наличия и распространенности кожно-оптической чувствительности у случайно выбранной группы лиц. - Тр. Сиб. физ.техн. ин-та, 1973, вып.64, с.263-269.
14. Лысенко Н.Н. Изменение кожно-оптической чувствительности человека в зависимости от спектрального состава света. - В кн.: Матер. первой конф. молодых ученых. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1974, вып.2, с.44-46.

2.6 Реакции центральной нервной системы на электромагнитные поля низкой частоты

Среди сложной комбинации факторов внешней среды, действующих на живой организм, существенное значение имеют ЭМП различных параметров /1-8/. Можно допустить, что живые системы за длительный период эволюции адаптировались к умеренным действиям ЭМП, подобно адекватной их реакции на колебания атмосферного давления, освещенности, температуры и влажности воздуха. Большая часть наблюдений на людях и в эксперименте на животных осуществлена при воздействии на них ЭМП СВЧ.

Известны эффекты биологического действия ЭМП низкой частоты и малой напряженности [1,2]. Во многих экспериментах на различных животных по-

казано, что слабые ЭМП и МП низкой частоты биологически активны и изменяют функции различных систем организма теплокровных и холоднокровных животных [3-7]. Но все же остается неясным вопрос, каким образом проявляется действие слабых ЭМП?

Для выяснения некоторых сторон механизма действия ЭМП низкой частоты и малой напряженности на процессы суммации возбуждений в ЦНС были использованы классические приемы, разработанные И.М.Сеченовым [8], который впервые показал, что подпороговые импульсы вызывают рефлекс в том случае, если они следуют друг за другом, раздражая периферические рецепторы или афферентные нервы. Тот факт, что при модуляции ЭМП низкой частоты и малой напряженности в большинстве случаев (даже для высокочувствительных к ним организмов) эффект выявляется с различным, порой довольно значительным, латентным периодом, дает основание относить эти поля к слабым раздражителям.

Различают два вида суммации: последовательную (временную) и пространственную. В первом случае подпороговое воздействие приводит к временной суммации возбуждений, когда серия ритмических стимулов прикладывается к одному и тому же рецептивному полю или чувствительному нерву. Пространственная суммация возбуждений обнаруживается в том случае, когда два или серия раздражений действует одновременно на разные рецепторы, относящиеся к одному и тому же рецептивному полю. Задачей нашего исследования явилось изучение исходного рефлекторного фона временной и пространственной суммации возбуждений с последующим выяснением изменчивости этого основного свойства нервных центров под влиянием воздействия ЭМП низкой частоты и различной напряженности на организм животных. Проведено три серии опытов на 20 взрослых кроликах (самцах), 8 кошках и 4 собаках.

В первой серии исследовали оборонительно-двигательный рефлекс задней лапы у интактного кролика до и во время воздействия ЭМП на организм животного. Для получения указанного рефлекса на время опыта в кожу подошвы правой задней лапы кролика вкалывали игольчатые электроды. Стимуляция производилась универсальным электронным импульсатором УЭИ-I сначала одним подпороговым импульсом, а затем частотой 5, I0, 20, 40. 60, I00 Гц при продолжительности каждого раздражающего импульса 0,5мс. В общем каждое тестирующее действие длилось I0 с, а перерыв между пробами - 5 мин. Для учета суммационного времени рефлекторной реакции на подпороговые стимулы в мышцу бедра-флексора вводились серебряные электроды, которые через усилитель биотоков УБП-I-0I подсоединялись к катодному осциллографу С I-4, с экрана которого потенциалы действия мышцы фотографировались на пленку фотоаппарата Зенит. После получения исходных данных производилось воздействие на кроликов ЭМП 8-I0 Гц при напряженностях - 0;8 В/м; 2,5 В/м; 5,0 В/м.

Вторая серия опытов была осуществлена на кошках, у которых предварительно перерезался спинной мозг на уровне IX-X грудных сегментов.

Для изучения суммационного времени у них выделяли задний и передний корешки в области второго-третьего L_2-L_3 поясничного сегментов спинного мозга. Определялся как и в первой серии рефлекторный эффект на одиночный или на серию допороговых раздражений чувствительного корешка путем подачи прямоугольных импульсов ЭМП указанных частот.

Третья серия опытов на собаках весом 7-8 кг отличалась тем, что у них сначала вырабатывались условные оборонительные, двигательные рефлексы. Для этого индифферентные условные сигналы - звонок, а в последующем и мигающий свет 40-ваттной лампы - подкрепляли электрическим раздражением кожи голеностопного сустава правой задней лапы. Стимуляция производилась через соединенные с импульсатором электроды, вмонтированные в небольшую манжетку, причем прямоугольные импульсы от 2 до 10 В подавались с частотой 50 Гц. Продолжительность раздражения каждым условным сигналом у различных животных заключена в пределах 3-5 с.

Латентный период образованного условного оборонительно-двигательного рефлекса и его интенсивность регистрировалась по методике Петропавловского [9]. В некоторых случаях производили запись электромиограммы икроножной мышцы правой задней лапы путем фиксирования на коже пуговчатых электродов, соединенных с венгерским двухканальным электромиографом типа 2I. После выработки разделенных на 5 с условных рефлексов отдельно на звонок и свет, изучали одновременное проявление этих двух условных сигналов в контрольных экспериментах и при воздействии на организм животных ЭМП.

Все животные, использованные в трех сериях опытов, после регистрации исходных данных помещали в кондесатор объемом I $м^3$, к пластинам которого подводилось синусоидальное напряжение от генератора НГПК-3 М. Амплитуда и форма сигнала контролировалась осциллографом. В основном исследовалось биологическое действие ЭМП частоты 8-10 Гц и напряженностью поля 0,8 В/м, а также 2,5 и 5,0 А/м.

Изучались реакции ЦНС как на однофазовое, так и многократные воздействия ЭМП при коротких и более продолжительных экспозициях. Опыты проводили в экранированной, заземленной камере.

В первой серии экспериментов установлено, что одиночное раздражение кожи задней конечности интактного кролика вызывало пороговый эффект при действии сильного тока, а при стимуляции подпороговыми импульсами рефлекс возникал в зависимости от применяемой частоты раздражений, т.е. от временной латентной суммации в нервных клетках ЦНС животного. Если стимуляция рецепторов кожи осуществлялась ритмом 40-60 Гц, то суммация в ЦНС наступала значительно раньше, чем при действии ЭМП 5-10 Гц. Интенсивность рефлекса при этом сопровождалась быстрым увеличением амплитуды потенциалов флексорной мышцы, чего не отмечалось на более низких частотах раздражения.

Однако наиболее четкие результаты суммации возбуждений в ЦНС в контрольных опытах на животных при стимуляции рецепторов различными

частотами, а затем на фоне действия на организм ЭМП низкой частоты и различной напряженности выявляются при использовании суммационной константы Лапика Z, рассчитанной по формуле [10]:

$$V = Z\left(1 - e^{-\frac{E}{Z}}\right), \text{ откуда } Z = -\frac{E}{\ln\frac{L-V}{L}},$$

где V - порог рефлекторной реакции на залпы различной частоты, слабых, подпороговых раздражений чувствительного нерва; L - порог рефлекторной реакции на раздражение чувствительного нерва только одним стимулом; E - интервал между импульсами примененных раздражений различной частоты.

Таким образом, суммация в нервных клетках ЦНС животного при электрическом раздражении чувствительного нерва зависит от силы раздражения, от интервала между раздражениями, от продолжительности каждого раздражения и от их числа.

Суммационная константа Z характеризует скорость угасания подпорогового локального возбуждения в интервале между импульсами раздражения. С повышением частоты раздражений кожи задней правой лапы в пределах от 10 до 60 Гц суммация во времени снижалась в среднем с 16,4±3,2 м/с до 11,6±2,9 м/с $P < 0,01$.

В результате воздействия ЭМП частотой 8 Гц напряженностью 0,8 В/м; 2,5 В/м; 5,0 В/м выявилось двухфазное изменение процесса суммации в ЦНС животных при экспозиции 1 ч и более.

Первая фаза, проявляющаяся в течение 20-25 мин облучения, характеризовалась повышением суммационной способности ЦНС интактного кролика. Во второй фазе после 30-40 мин экспозиции ЭМП у большинства животных наблюдалось снижение рефлекторной возбудимости и уменьшение времени проявления временной суммации, что привело к смещению в первой фазе оптимальной частоты стимуляции кожи задней конечности кролика в сторону более низких частот, в то время как во второй - пришлось применять раздражение более частыми ритмами. Суммационная константа Лапика уменьшилась, особенно при длительной экспозиции и воздействиях напряженностью 2,5 и 5,0 В/м. Следовательно, изменение константы Z при действии ЭМП зависит также от сдвигов подвижности и времени реакций в нейронах ЦНС.

Вторая серия опытов на оперированных кошках, у которых тоническое воздействие головного мозга на функцию нижних отделов спинного мозга было исключено, показала, что ЭМП низкой частоты вызывают относительно быстро снижение возбудимости и уменьшение способности нервных клеток, отграниченных сегментов спинного мозга, суммировать проявление серии редких импульсов, раздражающих чувствительный корешок. Путем учета потенциалов переднего корешка L_3 получено достоверное ($P < 0,01$) снижение рефлекторной возбудимости полисинаптического, флексорного реф-

лекса. Суммационная константа уменьшилась на 52,3% при оптимальной частоте (60 Гц) стимуляции заднего корешка.

Третья серия экспериментов на собаках была произведена в целях выяснения, в какой степени отразится действие применяемых ЭМП на процессы суммации возбуждения в нервных клетках коры больших полушарий головного мозга. У трех собак из четырех на 18–22 сочетании звонка с электрическим раздражением кожи правой задней лапы образовался условный рефлекс. На мигание электролампы оборонительно-двигательный условный рефлекс возник на 30–38 сочетании. В связи с подкреплением слабым током безусловно-рефлекторная реакция была незначительной, а возникший условный рефлекс был еще меньшей амплитуды. Реакция четвертого животного на условные сигналы – звонок и свет – была неодинаковой от опыта к опыту. В этом случае нервная система животного, по-видимому, была слабой. Комбинированное применение звонка и света у первых 3 собак вызывало рост амплитуды рефлекса и биоэлектрического потенциала икроножной мышцы по сравнению с эффектом от каждого условного сигнала порознь. Четвертое животное на такую комбинацию сигналов реагировало уменьшением эффекта, сонливостью – гипноидным состоянием.

В дальнейшем комбинированное действие условных сигналов производилось на фоне действия ЭМП низкой частоты (8 Гц) при напряженности 0,8 и 2,5 В/м. Установлено, что у первых трех собак за 15–30 мин облучения ЭМП наступило значительное увеличение оборонительно-двигательного рефлекса. У четвертой собаки эти процедуры привели к уменьшению рефлексов как на звонок и свет отдельно, так и на их комбинированное действие. Приведенные факты свидетельствуют о том, что в коре больших полушарий собак проявление действия ЭМП может быть разнонаправленным.

Таким образом, действие ЭМП на организм интактных кроликов и собак, а также оперированных кошек способствует изменению интенсивности процесса суммации возбуждений в нервных клетках головного и спинного мозга. Однако, несмотря на достоверные изменения у животных порогов оптимальных ритмов и суммационной константы Лапика, нельзя утверждать, что сдвиги процессов суммации происходят только по этой причине. Необходимы дальнейшие исследования для выяснения наличия или отсутствия явлений трансформации ритмов возбуждений в нервных клетках ЦНС. До сих пор недостаточно ясно, на какие звенья нейронов действуют ЭМП? Проявляется ли их активация или торможение через синаптические системы или жидкие среды мозга, тканей и органов?

Предполагается [11], что механизм суммации возбуждений в нервных центрах состоит в деполяризации постсинаптической мембраны под влиянием медиатора, выделяемого нервными окончаниями. Однако с точки зрения классической теории синаптического возбуждения объяснить действие ЭМП на нервные клетки не представляется возможным, несмотря на то, что эффект взаимодействия ЭМП с биоэлектрическими процессами в мозговой ткани допускается [12]. Данные [12] могут быть использованы для разработ-

ки механизма усиления суммационной способности нервных клеток под действием ЭМП малой напряженности низких и инфракрасных частот и развития в них торможения от ЭМП большой мощности. Однако следует считаться с тем, что эффект действия ЭМП низкой частоты и малой напряженности зависит от времени экспозиции, что связано с развитием двухфазных изменений вовбудимости в нейронах ЦНС.

Литература

I. Волынский А.М. Влияние гальванизации головного мозга на безусловные и условные рефлексы у животных: Автореф. дис. ... д-ра мед.наук. Симферополь, 1965. 35 с.

2. Русинов В.С. Доминанта: электрофиол. исслед. М.: Медицина, 1969. 231 с.

3. Владимирский Б.М., Волынский А.М. Воздействие электромагнитных полей с напряженностью, близкой к естественной, на физико-химические и биологические системы. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, с.126-150.

4. Ачкасова Ю.Н., Владимирский Б.М., Смирнов А.И. О влиянии магнитного поля с частотой в диапазоне КПК Рс1 на микроорганизмы. - В кн.: Матер. Всесоюз. симпоз. М.: Наука, 1971, с.97-100.

5. Темурьянц Н.А. Влияние МП сверхнизкой частоты и малой напряженности на лейкоциты периферической крови. - Там же, с.43-45.

6. Чегодарь А.Я. К анализу влияние электромагнитного поля низкой частоты и различной напряженности на сердечно-сосудистую систему в условиях длительной экспозиции. - В кн.: Влияние электромагнитных полей на биологические объекты. Харьков, 1973, т.53, с.18-22. (Тр. Крым. мед. ин-та).

7. Макеев В.Б., Вальвовская Л.С. Информационное значение слабых электромагнитных полей инфранизкочастотного диапазона. - В кн.: Матер. Всесоюз. науч.-техн. симпоз. М.: Наука, 1975, т.I, с.319-320.

8. Сеченов И.М. Рефлексы головного мозга. Физиология нервной системы. - Изобр.тр. М.: Медгиз, 1952, вып.I, с.143-211.

9. Петропавловский В.П. К методике условнодвигательных рефлексов. - Физиол.журн., 1934, т.17, № 2, с.217-226.

10. Lapique L. Beitrag zur Analyse der summarisch Konstant. - Ann. Physiol., Bd.I, 1925, s.132-138.

11. Экклс Дж. Физиология синапсов. М.: Мир, 1966. 395 с.

12. Эйди У.Р. Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям. - Физиология человека, 1975, т.I, № I, с.59-73.

2.7. Сенсорные реакции человека при воздействии магнитным полем

На вопрос, может ли человек ощущать постоянное МП, большинство современных исследователей отвечает отрицательно [1-3]. Между тем, ранее отмечалось (ом., например, [4]), что магнитные поля, действуя на кожу человека, могут вызывать ощущения покалывания, дуновения, тяжести, тепла, появления "мурашек" и т.п. Переменные МП могут ощущаться человеком: при действии на голову достаточно интенсивным МП (свыше 20 мТл) в интервале частот 10-100 Гц возникает ощущение световой вспышки [5,6]. Имеются отдельные сообщения о восприятии МП человеком в виде вкусовых ощущений [7] или чувства закладывания носа [8]. Мнение о преобладании субсенсорных путей воздействия МП на человека [9], связанные с общей недооценкой психофизики [10], остается господствующим, хотя сообщение [11] не согласуется с этим мнением.

Задача настоящей работы состоит в исследовании зависимости сенсорной индикации человеком МП от параметров внешнего поля - локализации, экспозиции, направления, индукции и частоты. Источниками МП, как правило, служили соленоиды разных размеров, которые надевали на руку, ногу или голову испытуемого человека, сидевшего в кресле в затемненной звукоизолированной камере. Время воздействия МП - не более 60 с. Интервалы между пробами варьировались от 40 до 100 с. За опыт одному испытуемому давали 6-10 проб, так что длительность опыта обычно не превышала 20 мин. В один день на одном испытуемом проводили 1-4 опыта.

Для создания импульсных МП питание соленоидов осуществляли от выпрямителя ВС-26 через электронный ключ, управляемый электростимулятором ЭСУ-1, который формировал прямоугольные импульсы заданной длительности и частоты.

Кроме того, использовали аппарат лечебный импульсного магнитного поля "Алимп" [12]. Применялся набор из 10 соленоидов, разделенных зазором в 3 см. Каждый соленоид имел диаметр 11 см и толщину 0,5 см. Предплечье правой руки испытуемого помещалось в набор соленоидов, которые могли включаться одновременно, создавая импульсное МП (ИМП) широкой локализации, или последовательно, создавая бегущее ИМП. Включение одного соленоида из набора приводило к генерации ИМП узкой локализации. Измерение напряженности МП производили тесламетром, созданным на основе эффекта Холла.

При возникновении ощущения испытуемый нажимал кнопку (что регистрировалось на чернилопишущем устройстве) и тем самым выключал источник МП. Экспериментатор отмечал время отсчета испытуемого с возникновением у него ощущения, независимо от того, совпадал этот отсчет с временем воздействия МП (реакция) или возникал в интервалах между воздействиями - ложные тревоги (ЛТ).

При обработке результатов по критерию Стьюдента для альтернативной изменчивости оценивали достоверность разницы между числом ответов при действии МП и числом ЛТ, возникающих в отсутствие МП. Поскольку испы-

туемый реагировал не на каждое воздействие МП, вероятность появления реакции оценивалась степенью "прочности" реакции, т.е. процентным отношением числа реакций к числу воздействий. Кроме того, определяли средний латентный период реакции на различные МП у разных испытуемых, а также динамику распределения латентных периодов.

В опыте принимали участие 11 практически здоровых испытуемых (6 женщин и 5 мужчин в возрасте 20–40 лет, 3 экспериментатора также входили в число испытуемых). Число опытов с каждым испытуемым изменялось в широких пределах (от 10 до 43), поэтому анализ результатов экспериментов производился по данным, полученным на одном испытуемом, а иногда – на группе испытуемых. В последнем случае индивидуальные особенности не учитывались. Все испытуемые знали цель экспериментов и знакомились с результатами протокольной записи сразу после окончания опыта.

Ниже излагаются результаты отдельных серий экспериментов, посвященных выяснению роли разных биотропных параметров МП.

1. Локализация воздействия. В опытах на трех испытуемых исследовали роль раздельных зон локализации воздействия неоднородным постоянным МП индукцией 10,0 мТл. В одной серии исследований воздействовали в случайном порядке на правую руку или на левую ногу испытуемого в одном и том же опыте. В другой серии опытов воздействовали на правую руку или на голову МП той же индукции. Выяснялось, сможет ли испытуемый определить одновременно время и локализацию воздействия. Результаты экспериментов на одном испытуемом показали, что по степени прочности ($68\pm3\%$ – рука, $61\pm4\%$ – нога) и по среднему латентному периоду ($23,4\pm3,5$ с – рука, $24,7\pm1,2$ с – нога) реакции на МП при воздействии на руку и на ногу не различаются. В то же время реакции при воздействии на голову возникали реже ($43\pm2\%$) и позже (через $33,9\pm4,6$ с), что достоверно отличало их от реакций при действии на конечности. Число неправильных реакций (например, при действии импульсного МП на голову испытуемый локализовал ощущение в руке) при воздействии МП на руку или на ногу были примерно одинаковыми, а при воздействии на голову их число увеличивалось вдвое. В то же время число ЛТ, локализованных в области головы, было много меньше, чем в области руки или ноги. Таким образом, воздействие МП на голову менее эффективно (речь идет только об использованном в эксперименте показателе!), чем воздействие того же раздражителя на руку или ногу.

В опытах с использованием бегущего ИМП исследовалась зависимость сенсорного эффекта от площади воздействия на руку. Увеличение площади воздействия МП приводит к увеличению биологического эффекта. Импульсное МП 10 Гц, 0,5 мТл узкой локализации не вызывало сенсорной реакции, а импульсное МП широкой локализации испытуемыми ощущалось. Установлено, что эффект действия МП не зависит от места его приложения к кожной поверхности, но увеличивается с увеличением площади воздействия. Это предположение не учитывает возможность локального воздейст-

вия МП на точки акупунктуры, что используется при изучении терапевтического действия МП [13].

2. Экспозиция. В предварительной серии исследований варьировали длительность воздействия МП до 3 мин, но большинство реакций возникало на протяжении первой минуты воздействия. Средние величины латентных периодов заключены в интервале 20-30 с. Это обстоятельство, а также стремление сравнивать результаты с данными, полученными на животных (а им часто давали минутное воздействие МП!), привели нас к выводу ограничить длительность воздействия 60 с.

3. Вектор. При действии различных направлений МП 20,0 мТл: горизонтального (3 испытуемых; 81 воздействие), и вертикального (3 испытуемых; 82 воздействия), получили в первой серии опытов средние значения прочности 68±4% и латентный период реакции 30,0±6,4 с, во второй - 62±3% и 32,3±7,6 с соответственно. Сравнение приведенных цифр показывает, что разница между ними несущественна. Следовательно, в данном эксперименте роль вектора МП для возникновения сенсорной реакции незначительна.

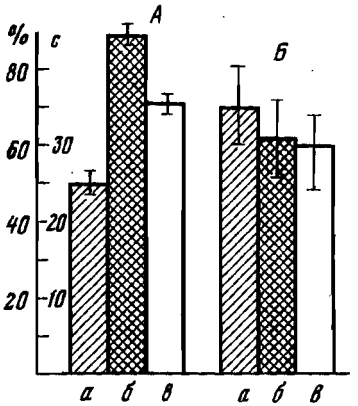
4. Индукция. Пороговое значение индукции для возникновения сенсорной реакции была определена для МП, ИМП, бегущего ИМП. В опытах с МП (горизонтальный вектор) использовали индукции 3,0; 8,0 и 20,0 мТл. Как видно из рис.15, прочность реакции на МП 3,0 мТл у одного испытуемого - около 50%, у другого - 33%. Подсчеты показали, что реакция недостоверна, хотя на обоих испытуемых было оказано 81 воздействие. Между тем, даваемое в тех же опытах в случайном порядке МП индукцией 8,0 мТл (всего 61 воздействие) вызвало реакцию прочностью 83% у первого и 63% у второго испытуемого. Увеличение индукции более чем в 2 раза не привело к увеличению, а даже несколько снизило (до 68%) прочность реакции на МП (рис.15). В другой серии опытов на правую руку того же испытуемого воздействовали вертикальным МП индукцией 25,0; 45,0 и 90,0 мТл. Прочность сенсорной реакции была соответственно 77, 79 и 87%. Иными словами, увеличение индукции МП на порядок не изменяет прочности сенсорной реакции, если индукция уже превысила пороговый уровень. Значение среднего латентного периода имеет тенденцию к недостоверному уменьшению при увеличении индукции МП (так как не увеличивается величина прочности реакции).

Итак, по степени прочности и по распределению латентных периодов сенсорных реакций пороговая индукция МП располагается между 3,0 и 8,0 мТл. По-видимому, этот показатель определяется индивидуальными особенностями испытуемых.

5. Частота. Если МП индукцией 3,0 мТл подавать на тот же соленоид в импульсном режиме с частотой 10 Гц, длительностью прямоугольного импульса 90 мс и воздействовать на тех же трех испытуемых, на которых воздействовали постоянным МП, то наблюдается четкая реакция. Так, у первого испытуемого ИМП вызывало реакцию прочностью 90%, а МП - 50%, у

второго - соответственно 50 и 30%. Следовательно ИМП одной и той же индукции биологически более эффективно, чем постоянное МП.

Использование ИМП индукцией 0,5 мТл показало отсутствие сенсорной реакции у трех испытуемых (прочность реакции 34 и 29%). Статистическая обработка свидетельствовала об отсутствии достоверных различий между числом ответов при действии ИМП и числом ЛТ. Увеличение индукции ИМП до 20,0 мТл не изменило параметров сенсорной реакции в сравнении с ИМП



Р и с. I5. Средняя прочность (А) и средний латентный период (Б) сенсорных реакций при действии на руку постоянным магнитным полем 3 мТл (а), 8 мТл (б) и 20 мТл (в)

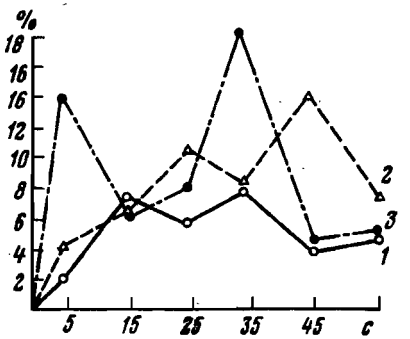
По оси ординат - прочность реакции (%) и время (с)

3,0 мТл. Отсюда следует, что сравнение биологических эффектов разных МП желательно проводить при использовании припороговых индукций МП.

6. Вариации биотропных параметров. В этих сериях экспериментов принимали участие 7 испытуемых. Используя генератор ИМП в качестве источника тока, мы создавали ИМП индукцией 0,5 мТл с помощью одного соленоида или сразу десяти. В третьем варианте создавали бегущее импульсное поле той же индукции. МП узкой локализации не вызывало достоверной реакции (прочность ответа составляла 37%), МП широкой локализации вызывало реакцию в 63% с большим средним латентным периодом, равным 30±6 с, а бегущее импульсное МП вызывало реакцию в 93% случаев. Следовательно, вариации локализации воздействия импульсным МП значительно увеличивают биологическую эффективность МП. Этот вывод подтверждается и данными распределения латентных периодов сенсорных реакций трех испытуемых (рис.I6). Двугорбая кривая напоминает результаты, полученные при использовании ПМП значительной индукции. Возможно, такая форма распределения латентных периодов сенсорных реакций свидетельствует о повышенной биологической эффективности.

Комплекс данных, изложенных в настоящей работе, надежно свидетельствует о возможности сенсорной индикации МП практически любым человеком. В контрольной серии опытов показано, что МП, создаваемое постоянным магнитом, вызывает такую же сенсорную реакцию, как и МП, создаваемое соленоидом. Этим исключается возможное действие слабого на-

гревания соленоида. Поскольку исследуемое МП имеет частоту 10 Гц [14], а наилучшее восприятие вибраций наблюдается при 125Гц [15], то биологическое действие вибрации исключается. Несмотря на то, что сенсорная реакция на МП носит статистический характер, применение современных методов математической обработки выявляет у испытуемых способность определять локализацию магнитного воздействия во времени и в пространстве. Увеличение физиологической силы раздражителя приводи-



Р и с. 16. Распределение латентных периодов τ сенсорных реакций у трех испытуемых при действии на руку импульсным магнитным полем 0,5 мТл узкой локализации (1), широкой локализации (2) или переменной локализации (3)

ло к уменьшению латентного периода [16], что наблюдалось, например, при переходе от МП широкой локализации к бегущему МП. Наиболее важный вывод гласит, что сенсорная реакция на МП носит пороговый характер, причем для постоянного МП нижний порог располагается около 8,0 мТл, для импульсного - около 3,0 мТл, а для бегущего импульсного МП - ниже 0,5 мТл. Сходные цифры получены в [9] и [17] для импульсного МП в экспериментах на животных. Увеличение числа варьируемых биотропных параметров МП может усилить их биологический эффект [18,19] и другие].

Дальнейшие исследования сенсорных реакций человека при действии ЭМП могут развиваться по теоретическому, прикладному и техническому направлениям.

Теоретическая сторона проблемы заключается в том, что кроме привычной быстрой системы начального сенсорного реагирования, включающейся через доли секунды после начала действия раздражителя (свет, звук и т.п.), у человека имеется медленная система начального реагирования. Такая система запускается ЭМП, в частности СВЧ диапазона и МП. Система медленного начального реагирования обнаружена и у кроликов при исследовании ЭЭГ-реакций на различные ЭМП [17]. Следовательно она свойственна по крайней мере ЦНС позвоночных, а, возможно, и другим менее совершенным в эволюционном плане организмам беспозвоночных животных.

Из прикладных направлений на первый план выступает индивидуальная характеристика нервной системы человека по ее чувствительнос-

ти к МП. Предварительные исследования показали, что большинство испытуемых реагирует на МП 10-50 мТл со средним латентным периодом около 30 с, но у некоторых людей сенсорная реакция возникает в среднем через 10 с. Последняя группа для успешного лечения требует меньшее число магнитотерапевтических процедур; вместе с тем она менее приспособлена для выполнения производственных операций в условиях повышенного МП.

Техническое направление исследований связано с созданием более эффективной магнитотерапевтической аппаратуры.

Литература

1. Плеханов Г.Ф. Дестабилизация неравновесных процессов как основа общего механизма биологического действия магнитных полей. - В кн: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, с.59-80.
2. Вялов А.М. Клинико-гигиенические и экспериментальные данные о действии МП в условиях производства. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, 1971, с.165-177.
3. Кикут Р.П. Использование магнитобиологических эффектов в лечении артериальных аневризм сосудов головного мозга: Дис. ... д-ра мед. наук. Рига: Мед.ин-т, 1977.
4. Дорвиль Г. Лечение болезней магнитами. Киев, 1913. 74 с.
5. Соловьев А.Н. К вопросу о механизме биологического действия импульсного магнитного поля. - Докл. АН СССР, 1963, т.149, № 2, с.438-442.
6. Холодов Ю.А. Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. М.: Наука, 1966. 237 с.
7. Акето О., Силвер П., Тобайс Д. Биологическое действие МП. - Зарубеж. радиоэлектрон., 1972, № 3, с.176-182.
8. Kolin A., Brill N.A., Briberg P.J. Stimulation of irritable tissue by means of an alternating magnetic field. - Proc. Soc. Exp. Biol. and Med., 1959, vol.102, No.1, p.251-255.
9. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975. 206 с.
10. Бардин К.В. Проблема порогов чувствительности и психофизические методы. М.: Наука, 1976. 291с.
11. Холодов Ю.А. Электрофизиологические, поведенческие и перцептивные показатели реакции центральной нервной системы на магнитные поля. - В кн: УП Всесоюзн.конф. по электрофизиологии ЦНС. Каунас, 1976, с.305.
12. Берлин Ю.В. Устройство для возбуждения скользящего МП. - В кн.: Новости мед.техники, 1974, вып.1, с.123-126.
13. Hsu M. Fong Ch. The biomagnetic effect. Its application in acupuncture theory.-Amer. J. Acupuncture, vol.6, No.4, p.289-296.

I4.Гусева Н.Н. Вибрация и нервная система. М.: Медицина, I976. I68 с.
I5.Холодов Ю.А., Шишло М.А. Электромагнитные поля в нейрофизиологии. М.: Наука, I979. I68 с.
I6.Фресс П., Пиаже Ж. Экспериментальная психология. М.: Прогресс, I966. 20I с.
I7.Евтушенко Г.И., Колодуб Ф.А., Островская Н.С., Максименко Н.В. Влияние импульсных электромагнитных полей низкой частоты на организм. Киев: Здоровье, I978. I32 с.
I8.Музалевская Н.И. Физиологические проявления действия магнитного поля малой напряженности в диапазоне сверхнизких частот: Дис. ... канд. биол. наук. Л.: ЛГУ им. Жданова, I978. 26 с.
I9.Майкельсон С.М. Радиоизлучения. Магнитные и электрические поля. - В кн.: Основы космической биологии и медицины. М.: Наука, I975, т.2, кн.2, с.9-40.

3. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА КРОВЬ

3.I. Некоторые электрические свойства крови и ее изменение под действием электромагнитных полей

Кровь - жидкая ткань, движущаяся в кровеносных сосудах и обеспечивающая межорганный обмен, является важнейшей составной частью внутренней среды организма. В настоящем разделе рассматривается электрохимический аспект физико-химической системы, которой является кровь, состоящая из двух взаимодействующих компонентов: плазмы и форменных (клеточных) элементов.

Плазма крови - сложная смесь органических и неорганических веществ, находится в динамическом равновесии с омывающей клетки тканевой и внутриклеточной жидкостями. Два ее главных компонента - вода (90-92%) и белки (7-8%). Небольшая концентрация в плазме глюкозы (0,I%) и солей (0,9%) поддерживается различными регуляторными механизмами приблизительно на постоянном уровне. Форменные элементы крови - эритроциты, лейкоциты и тромбоциты-взвешены в плазме. Эритроциты позвоночных животных содержат гемоглобин, переносящий кислород и углекислоту. У взрослого человека в I $мм^3$ крови содержится около 5 млн эритроцитов. Лейкоциты, которых известно 5 типов - лимфоциты, моноциты, нейтрофилы, эозинофилы и базофилы, выполняют в организме иммунно-защитную функцию. В I $мм^3$ крови их число колеблется от $5 \cdot I0^3$ до $I0^4$. Тромбоциты (кровяные пластинки) - фрагменты крупных клеток, находящиеся в костном мозге, играют важную роль в процессе свертывания крови.

Физико-химические свойства крови (окислительно-восстановительный потенциал, вязкость, осмотическое давление, pH, ионная сила и другие) меняются в узких пределах, так что характеристики крови можно считать стабильными. При значительных изменениях обмена веществ, вызванных внут-

ренними и внешними причинами, адаптационные возможности крови исчерпываются и ее физико-химические параметры могут заметно меняться. Это позволяет рассматривать кровь как одну из наиболее чувствительных сред организма, которая может служить индикатором изменения его состояния под действием внешних и внутренних факторов.

Соотношение ионов водорода (H^+) и гидроксилов (HO^-) в жидкой фазе плазмы определяет значение pH крови - основного электрохимического параметра этой среды. Нейтральное значение pH равно 7,0, при этом концентрации ионов H^+ и HO^- равны друг другу. В кислых растворах pH меньше 7,0, в щелочных - больше. Многочисленными измерениями установлено, что pH крови весьма стабильная величина и составляет в среднем 7,35, т.е. кровь является слабощелочной средой. Величина pH имеет большое физиологическое значение: сдвиг ее в сторону щелочности (алкалоз) или кислотности (ацидоз) вызывает ряд серьезных нарушений в организме. Изменение pH в кислую сторону увеличивает положительный заряд клеток и амфотерных полиионов (частички белка и другие), в щелочную - отрицательный. При определенных значениях pH суммарный заряд частиц становится нулевым, при котором их движение под действием электрического поля прекращается. Это значение pH называется изоэлектрической точкой. Изоэлектрическое состояние является одним из условий, при которых, в частности, происходит денатурация белков. Изоэлектрические значения pH разных амфотерных частиц неодинаковы, поэтому изменения pH могут быть регуляторным механизмом, меняющим функциональную активность, например белков и структур, содержащих протеины, посредством уменьшения или сведения к нулю их суммарного заряда.

Электрические свойства крови выражаются через поверхностный заряд и дзета-потенциал[I] клеток, диэлектрическую проницаемость и электропроводность форменных элементов крови и плазмы.

Форменные элементы крови обладают электрическим зарядом и магнитным моментом /2/. Значение электрического заряда рассчитывается по измеренным величинам электрофоретической подвижности[2] клеток (см. гл.III, п.4, т.2), которая определяется биохимической структурой клеток и свойствами окружающей ионной среды. Электрофоретическая подвижность (ЭФП) эритроцитов человека в физиологическом растворе при pH 7,4 составляет /3/ $0{,}596 \cdot 10^{-4}$ $см^2/с \cdot В$, лейкоцитов - $0{,}37 \cdot 10^{-4}$. По данным работы /4/, плотность электрического заряда эритроцитов человека в том же растворе при pH 7,3 равна $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ $К/см^2$, а лейкоцитов - порядка $8 \cdot 10^{-7}$ /5/.

[I] Электрическим или дзета-потенциалом называется электрический потенциал поверхности, разделяющей неподвижную и подвижную части двойного слоя.

[2] Электрофоретическая подвижность клеток - скорость их движения в жидкой среде под влиянием ЭП, напряженностью равной единице.

Основная часть отрицательных зарядов клеточной поверхности создается полисахаридными комплексами, в частности, карбоксильными группами сиаловых кислот /6–8/. У эритроцитов 62% общего отрицательного поверхностного заряда обусловлено нейраминовыми кислотами, у лимфоцитов – 45%, у полиморфноядерных лейкоцитов – 60%. Кроме сиаловых кислот на поверхности целого ряда клеток присутствует и небольшая часть РНК, которая образует анионные комплексы. Они обнаружены на поверхности ретикулоцитов, лимфоцитов и полиморфноядерных лейкоцитов человека /9,10/. Мембраны клеток могут содержать также положительные аминогруппы /9, 11,12/. На поверхности лимфоцитов человека присутствуют как амино-, так и тиогруппы /10/. Тромбоциты, кроме сиаловых кислот, которые определяют до 60% их отрицательного заряда /13/, имеют тиогруппы /14/, аминогруппы /15/, а также фосфатные группировки /16/.

Потенциал клетки в пределах примембранного слоя остается примерно постоянным, по мере удаления от мембраны убывает и в электролите падает до нуля. Численная оценка потенциала на границе "внешний примембранный слой – электролит" привела к значениям, близким к значениям дзета потенциала эритроцитов человека /17/. Детальное сравнение расчетных и экспериментальных данных показало /18/, что послойное распределение зарядов в гликопротеиновом слое можно определить из классической модели путем измерения ЭФП в зависимости от ионной силы раствора[I] . Именно так, изменяя величину ионной силы раствора при фиксированном значении pH, было получено распределение ионогенных групп по глубине примембранного слоя клетки /19/. Однако при интерпретации подобных результатов возникают трудности, связанные с возможностью конформационных изменений, сопровождающие сдвиги ионной силы раствора /20/.

Теоретически изучена /21/ зависимость ЭФП эритроцитов от ионной силы раствора. Информацию о толщине поверхностного слоя и электроосмотическом движении вдоль поверхности клеток можно получить экспериментально. Показано, что глубинные слои гликокаликса электрофоретически эффективны лишь при малой ионной силе. На основе электрофоретических и биохимических данных /22/ оценены потенциал на липидном бислое, потенциал на внешней стороне гликокаликса и его толщина. Рассчитаны величины ЭФП эритроцитов в зависимости от pH при различных ионных силах растворов. Во всей области изменения параметров результаты расчетов близки к экспериментальным данным. Возможное влияние транспорта ионов и молекул через клеточную поверхность на дзета-потенциал изучалось на модельных системах /23/ и живых клетках /24,25/. Исследования на бислойных липидных мембранах показали /23/, что при использовании разных растворов одинаковой ионной силы по обеим сторонам мембраны концентрируется разное число зарядов, что обусловливает трансмембранный потенциал,

---

[I] Ионная сила раствора равна полусумме концентраций ионов, умноженной на квадрат их валентности.

соизмеримый с электрохимическим потенциалом клеточной поверхности. На этой модели основан возможный механизм влияния распределения зарядов на поверхности клетки, на дзета-потенциал через изменение величины электрохимического потенциала клеточной поверхности относительно окружающей жидкости и перестройку двойного электрического слоя.

Экспериментальные исследования соотношения трансмембранного потенциала и поверхностного заряда клеток животных показали [25], что при действии на клетки крови, ткани и органы физиологически активных факторов - температуры, ионизирующей радиации, биологически активных веществ и других - характер изменения трансмембранного потенциала и заряда клеточной поверхности, как правило, одинаков.

Электрические явления движущихся клеток крови и субклеточных структур сопровождаются биомагнитными эффектами [26]. Поверхностные электрические заряды форменных элементов крови при их поступательном движении вызывают появление конвективных токов, что приводит к возникновению электродинамических и электромагнитных явлений. Электрические свойства крови не являются простой суммой характеристик ее компонентов. Например, электропроводность крови значительно меньше, чем плазмы или сыворотки, и в основном определяется концентрацией NaCl. Взвешенные элементы крови (клетки и частицы коллоидов) препятствуют прохождению электрического тока через кровь вследствие их малой проводимости.

Влияние ЭМП на электрические и другие свойства крови может осуществляться непосредственно через рецепторные структуры, что приводит к изменению физико-химических и других характеристик крови и ее компонентов, так и опосредованно через регуляторные системы организма (ЦНС, железы внутренней секреции и т.п.). ЭМП, в частности, вызывает изменение электролитного состава крови [28-31], повышается содержание ионизированного Ca^{2+} и уменьшается число легких ионов в плазме человека [32].

Электрические заряды эритроцитов имеют существенное значение в обменных процессах организма. Есть основания полагать, что уменьшение заряда на эритроцитах приводит к нарушению метаболизма. Электростатическое взаимодействие одноименно заряженных эритроцитов может играть важную роль в предотвращении образования эритроцитарных тромбов [26]. В сочетании с вибрацией, которая нарушает гелевую структуру коллоидных растворов и переводит их в состояние золя, переменное МП увеличивает скорость оседания эритроцитов (СОЭ) [33,34]. Осаждение эритроцитов в пробе крови происходит в результате взаимодействия гравитационных, гидродинамических, электрических и химических сил [26,33]. Следовательно, можно ожидать изменение СОЭ под действием ЭМП [34,35], а также увеличения вязкости крови вследствие ориентации компонентов плазмы [36,37]. СОЭ является одним из важных диагностических тестов, выявляющих патологические состояния организма [38]. Несмотря на то, что электрокинетические характеристики не оцениваются при массовых

клинических анализах крови, их косвенное влияние на СОЭ несомненно. Этот вывод подтверждается многими исследованиями /36,39,40/.

В ряде экспериментальных исследований определялось влияние ЭМП различных параметров, а также постоянного МП на содержание форменных элементов крови /41-48/.

Изменение состава белой крови при действии МП имеет тенденцию к увеличению числа лейкоцитов /41-44/ (см. также п.2.1 гл.1). По величине наблюдаемых сдвигов белой крови судят об адаптационных реакциях организма на влияние МП /42/. ЭП /43/ вызывает также изменение лейкоцитарной формулы за счет уменьшения числа лейкоцитов у мышей /44/. Однородное ЭМП не вызывало изменения числа клеточных популяций крови /45/. Пульсирующая микроволновая радиация приводит к уменьшению числа лимфоцитов, при этом процентное содержание больших лимфоцитов возрастало /47/. Микроволны влияют на градиент концентрации и транспорт ионов через эритроцитарную мембрану человека /48-49/. Неоднородное МП и высокочастотное ЭМП влияют на дзета-потенциал эритроцитов /50-51/.

Итак, кровь - электрохимическая система взаимодействующих компонентов - является важнейшей частью организма, подвергающейся действию внутренних и внешних факторов и влияющей на его физиологическое состояние. Электрические свойства живых систем связаны с наличием и перераспределением зарядов в организме, в частности с движением элементов крови, несущих заряд и обладающих магнитным моментом. Перенос зарядов зависит от инерционных, гидродинамических и электрических сил, при этом большое значение в транспорте ионов через мембраны имеют электрические поля, как результат наличия высоких значений градиентов потенциала на клеточных мембранах. Ионогенные группы молекул структурированных белков, мукопротеидов, кислых полисахаридов и других веществ, образующих поверхность форменных элементов крови, а также обменные процессы, pH, ионная сила содержимого клеток и плазмы обусловливают величину трансмембранного потенциала, все эти физико-химические субстанции и процессы ответственны за влияние электромагнитных воздействий на биообъекты. Изменение электрохимических характеристик крови является сигналом для включения адаптационных механизмов к перестройке обмена веществ в органах и тканях. Следовательно, кровь является одной из наиболее лабильных систем, через изменение характеристик которой проявляется действие многих внешних и внутренних факторов на организм.

Литература

1. Вилли К., Детье В. Биология (биологические процессы и законы). М.: Мир, 1974, 822 с.
2. Чижевский А.Л. Электрические и магнитные свойства эритроцитов. Киев: Наукова думка, 1973, 93 с.
3. Bazin S., Robenaux R. Etude des variations de la charge electrique des leucocytes en function du pH du milien et de leur vitalite — C.R.Soc. Biol., 145,. 1954, p.41-48.

4. Heard D.H., Seaman G.V.F. The influence of pH and ionic strength on the electrokinetic stability of the man erythrocyte membrane.-J. Gen. Physiol., 1960, v.43, N3, p.635-654.
5. Ruchenstroth-Bauer G. The normal and pathological haemocytogramm of man. Cell Electrophoresis/Ed. Ambrose E.I., London, 1965, p. 66-72.
6. Oncley J.L. Biophysical concepts of lipoprotein. - Biophysical mechais in vesoular homfostasis and intervascular thrombosis, 1965, p. 231-238
7. Seaman G.V.F., Cook G.M.W. Modification of the electrophretic behaviou of the erythrocyte by chemical and enzymatic methods. -In: Cell electr phoresis/ Ed. E.J.Ambrose: Acad. press, 1965.
8. Vassar P.S., Hards J.M., Seaman G.V.E., Surface properties of human lymphocytes. - Biochim et Biophys. acta, 1973, vol. 291, N 1, p. 107-115.
9. Weiss L., The cell periphery. - Intern. Rev. Cytol., 1969, vol. 26, p. 63-105.
10. Mehrishi J.N. Surface molecular components of human lymphocytes. - Intern. Arch. Allergy and Appl. Immunol., 1972, vol. 42, p. 69.
11. Ward P.D., Ambrose E.I. Electrophoretic and chemical characterization of the chargel groups at the surface of murine Ci 3 ascites leukemia cells.- J.Cell Sci., 1969, vol. 4, № 2, p. 289-298.
12. Гофман Э.Г. Динамическая биохимия. М.: Медицина, 1971. 311 с.
13. Seaman G.V.F., Vassr P.S. Changes in the electrokinetic properties of platelets during their aggregation. - Arch. biochem. and biophys., 1966, vol. 117, № 1, p. 10-17.
14. Mehrishi J.N., Grassetti D.R. Sulphydril groups on the surface of intact Ehrilch ascites humours cells, human blood platelets and lymphosytes. - Brit.Emp.Cancer Cø. Ann.Rep., 1969, p. 47.
15. Mehrishi J.N. Possitively cherged amino groups on the surface of normal and cancer cells. - Europ. J. Cancer, 1970, vol. 6, p. 127-137.
16. Mehrishi J.N. Phophatil groups (reseptors) on the surface of human blood platelets. - Nature, 1970, № 226, p. 452-453.
17. Pastushenko V., Donath E. Potential distribution neer the cell coated width a changed glicoprotein layer. - Stud. biophys., 1976, Bd. 56, S. 2B10-202.
19. Haydon D.A., Seaman G.V.F. An estimation of the surface ionogenic groups of the human erythrocyte and of E coli. - Proc. Roy. Soc, B, 1962, vol. 156, p. 533-549.
18. Pastushenko V., Donath E. On the electrophoretic mobility of cells coated width a charged glicoprotein layer. - Stud. biophys., 1976, Bd. 56, 2B4-B7.
20. Маркосян А.А., Лисовская И.Л., Маркосян Р.А. Электрокинетические характеристики и межклеточные взаимодействия форменных элементов крови. - Успехи физиол. наук, 1977, т.8, № 1, с.91-108.

21. Donath E., Pastushenko V. Electrophretio Study and cell curface properties, theory and experimental applicability. - Bioelectrochem and Bioenerg., 1980, vol. 7, № 1, p. 31-40.
22. Dolovy K., Godlewski Z. Computation of the erythrocyte cell membrene parametrs from electrophoretical and biochemical data sternlike electrochemical mcdel of the cell membrane. - J.Theor.Biol., 1980, vol. 84, № 4, p. 709-723.
23. McQuarrie D.A., Mulas P.Asymmetric charge distributions in planar bilayer systems. - Biophys.J., 1977, vol. 17, № 2, p. 103-109.
24. Redmann K., Burmeister J. The ingluence of hypotermia on the transnumbrene potencial, zeta-potencial and metabelisme of polymorfonuclear deu Kccytes. - Acta biol.,et med. ger., 1974, vol. 33,p. 187-196.
25. Redmann K. Experimental investigetions intc the reletionship of transmembrene pctintial and surface charge of animal cells. - Stud. biophys., 1978, Bd. 74, S. 1-22.
26. Чижевский А.Л. Биофизические механизмы реакции оседания эритроцитов. Новосибирск; Наука, 1980. 180с.
27. Венгер Т.Р. О действии переменного магнитного поля на некоторые функции животных. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М., 1969, с.51-54.
28. Лысина Г.Г., Пинес А.Г., Осинская Л.С. К механизму развития гемодинамических сдвигов при воздействии электромагнитных волн радиочастот. - В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. М., 1959, с.17-18.
29. Аристархов В.М., Пируэян Л.А., Маркузе И.И. Действие постоянного магнитного поля на распределение ионов натрия и калия в асцитной опухоли саркома-37. - В кн.: Магнитное поле в медицине. Фрунзе: Кирг. мед. ин-т, 1974, т.100, с.125-126.
30. Маркузе И.И., Пируэян Л.А., Аристархов В.М. Действие постоянного магнитного поля на развитие асцитной опухоли саркома-37. - Магнитное поле в медицине. Фрунзе: Кирг. мед. ин-т, 1974, т.100, с.111-112.
31. Вялов А.М., Духанова В.П. Характеристика некоторых биологических показателей крови при действии магнитных полей в экспериментально-лабораторных условиях. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М., 1969, с.59-61.
32. Григорьева В.Х. Действие переменного магнитного поля в комплексе с вибрацией на некоторые показатели сердечно-сосудистой системы крови. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М., 1969, с.68-70.
33. Senatra D., Berag A., Glubilaro G. Biological effects cf low-level very low-freguency (VLF) electric fields of the blood sedementation rat. - Intern.J.Biometeorol., 1978, vol. 22, № 1, p. 59-66.

34.Султанов А.А., Саидов С.М. О влиянии электромагнитного поля на РОЭ крови. - В кн.: Материалы ХУ науч.конф.физиологов, биохимиков и фармакологов Юга РСФСР. Махачкала, 1965, с.297-298.
35.Беклемишев Н.Б. К анализу динамики изменения РОЭ в магнитном поле. - Материалы Всесоюз.симпоэ.: Влияние искусственных магнитных полей на живые организмы. Баку, 1972, с.30-31.
36.Гак Е.В. К вопросу о первичных процессах действия магнитных полей на биологические объекты. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М., 1966, с.18-19.
37.Добрынин А.У., Миронова Н.К. Магнитобиологическое (биофизическое) изучение РОЭ у больных туберкулезом в условиях санаторного лечения. - В кн.: Актуальные вопросы медицинской магнитобиологии. Саранск: Морд. гос. ун-т, 1977, с.20.
38.Варданян В.А. К вопросу о физической интерпретации влияния магнитного поля на реакцию оседания эритроцитов. - В кн.: Применение магнитных полей в медицине, биологии и сельском хозяйстве. Саратов, 1978, с.22-23.
39.Варданян В.А., Рапян Н.В., Джингоэян А.К. и др. К вопросу о влиянии магнитных полей на реакцию оседания эритроцитов. - Биол.журн. Армении, 1979, т.32, вып.8, с.782-785.
40.Гарканеев Г.П., Курлов О.В., Гольдберг Е.Р. Реакция системы крови на воздействие постоянных и переменных магнитных полей. - В кн.: Вопросы радиобиологии и гематологии. Томск, 1966, с.212-213.
41.Пирузян Л.А., Глезер,В.М., Дементьев В.А., Ломоносов В.А. Влияние постоянного магнитного поля на кровь. - Материалы Всесоюз.симпоз: Влияние искусственных магнитных полей на живые организмы. Баку, 1972, с.135-136.
42.Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Изменение состава белой крови как критерий адаптационных реакций организма при воздействии магнитными полями и другими неспецифическими агентами. - В кн.: Магнитное поле в медицине. Фрунзе, 1974, с.23-25.
43.Портнов Ф.Г., Израилет Л.И., Бриедис Ю.Э. и др. Некоторые показатели влияния на организм статических электрических полей в условиях эксперимента. - В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. М., 1972, с.129-130.
44.Stramper H., Knapp E., Fischer G. Das Gesamtblutbild der Maus im 50-Hz-Feld bei unterschiedlichen Exponierungszeiten. - Bakteriol. Parasitenk., Infectionskranke. und Hyg. 1, Abt.Orig.B.Zentr., 1979, Bd. 169, № 3/4, S. 374-380.
45.Bellosi A., Bresson I., Certaines J. Ruelques effects d'um champ magnetique uniforme sur le sang. - C.r.Soc.biol., 1971 (1972), vol. 165, № 6, p. 1503-1506.
46.Pardeva-Vajlupkovy J. Influence of pulsed microwave radiation on the lymphocytes. USWC/URSI spring meet. Wash., 1979. 477 p.

47. Olcerst R.B. A menlinear microwave radiation effects on the passive efflux of sodium and rubidium from rabbit erythrocytes. USNC/URSI spring. meet. Wash., D.C., 1979. 308 p.
48. Штеллер В.М. Изменение транспорта K^+ и Na^+ в эритроцитах человека под влияние микроволн радиочастот. - В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. М., 1972, с.62-63.
49. Kinorita J., Kazuhiko, Low Tsong, Tian. Voltage-induced pore formation and haemolysis of human erythrocytes. - Biochem. et Biophys. acta, 1977, vol. 471, № 2, p. 227-242.
50. Белоконь А.Н., Травкин М.П., Попов М.П., Голикова Н.Ф. Влияние неоднородного магнитного поля на подвижность и дзет-потенциал эритроцитов крови. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М., 1969, с.13-14.
51. Исмаилов Э.Ш. О влиянии сверхчастотного электромагнитного облучения на электрофоретическую подвижность эритроцитов. - Биофизика, 1976, т.22, вып.33, с.493-498.

3.2. Действие электромагнитных полей на систему свертывания крови

Сердечно-сосудистая система обладает высокой чувствительностью к воздействиям электромагнитных полей. Многочисленными наблюдениями установлено, что в дни повышенной солнечной активности, сопровождающейся геотермальными возмущениями, значительно увеличивается число инфарктов миокарда, наблюдается более тяжелое их течение, возраотает летальноть, более чем в 3 раза повышается число заболеваний мозговым инсультом, учащаются кровотечения у больных туберкулезом, изменяются коагулологические и фибринолитические свойства крови /1-7/. Не только экологические, но и ЭМП в производственной практике также способны вызывать гемодинамические и тромбогеморрагические нарушения /8-9/.

В клинической практике гальванизация, электросон, электронаркоз, электрическая дефибрилляция сердца, электрошоковая терапия вызвают выраженные реакции со стороны свертывающей и фибринолитической способности крови /10-12/. Особую остроту эта проблема приобретает в связи с тем, что терапевтические воздействия направлены на организм пациента, реакции которого существенным образом нарушены и адаптационные возможности онижены. Неоднократно высказывалось мнение, что патологическое влияние электромагнитных полей проявляется сильнее у людей, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями /13/. Важную роль играют электрические свойства гетеротрансплантантов при протезировании дефектов сосудистой системы. Изучая тромборезистентность трансплантантов из пластических масс, исследователи отмечают важное значение поверхностного электрического заряда. Отрицательный заряд на внутренней поверхности угнета-

ет свертывание крови, в то время как положительный - стимулирует тромбирование протеза. Это дало основание предложить в качестве тромборезистентных материалов для трансплантации электреты, обладающие наведенным электрическим полем /I4/.

За последнее время достаточно интенсивно разрабатывается тромбогенная теория атеросклероза, которая предполагает, что источником поражения сосудистой стенки является нарушение в системе овертывания крови /I5-I6/. Поскольку ЭМП оказывает выраженное воздействие на гемокоагуляцию, можно ожидать, что оно является одним из достаточно важных этиологических факторов, способствующих развитию атеросклеротических поражений. Косвенным подтверждением такого вывода служит рост заболеваний атеросклерозом по мере "загрязнения" биосферы электромагнитными полями. Поэтому проблема исследования механизмов воздействия ЭМП и предотвращения патологических реакций в организме человека становится не только локальной проблемой биологии, медицины, гигиены, биофизики, но и приобретает весьма актуальную социальную значимость.

Свертывание крови представляет собой последовательность сопряженных реакций ферментативной и физико-химической природы. По современным представлениям гемокоагуляцию можно разделить на три этапа: I) образование протромбиназы; 2) активацию этим ферментом протромбина и переход последнего в каталитически активную форму - тромбин; 3) трансформацию растворимого плазменного белка фибриногена в нерастворимый фибриновый гель, в котором заключены клетки крови. В этом процессе принимают участие плазменные факторы, форменные элементы крови, коагулологические соединения стенок сосудов сердца и других тканей /I7/. В дальнейшем фибриновые сгустки могут растворяться в сосудистом русле плазмином, который образуется из профермента - плазминогена - также в результате комплекса биохимических реакций. Активаторы этого процесса содержатся в форменных элементах крови, сосудистой стенке и других тканях.

За последние годы накопилось достаточное число фактов, свидетельствующих о том, что гемокоагуляция стимулируется не только при повреждении сосудистого эндотелия, но и при изменении функционального состояния организма. Было установлено /I8-I9/, что сосудистая стенка способна выделять вещества, ускоряющие свертывание крови и фибринолиз, при самых различных физиологических и патологических воздействиях. Имеющиеся в настоящее время экспериментальные данные и клинические наблюдения не оставляют сомнений в биологической эффективности ЭМП и его способности изменять коагулологический и фибринолитический потенциал крови. Однако эти данные во многом противоречивы, часто касаются реакций отдельных компонентов гемостаза, не позволяя создать целостное представление о динамике системы свертывания крови, практически отсутствуют убедительно обоснованные модели механизмов действия физических факторов на рассматриваемую физиологическую систему. Окончательное решение вопроса о механизмах действия ЭМП возможно только на базе комплексно-

го анализа реакций отдельных звеньев системы гомеостаза как в условиях целого организма, так и в опытах in vitro.

В нашей лаборатории на протяжении длительного времени исследуются реакции системы свертывания крови и ее отдельных компонентов на различные электромагнитные воздействия. Эксперименты выполнены на 500 собаках, 250 крысах, 200 мышах и образцах крови, полученных у 500 человек. Для оценки состояния системы свертывания крови использовался комплекс лабораторных методов, позволяющих изучить свойства плазменных прокоагулянтов и фибринолитических агентов, агрегацию клеток крови, реакцию освобождения факторов гемокоагуляции из форменных элементов крови и сосудистой стенки, применялась световая и электронная микроскопия. В качестве физического воздействия использовался постоянный электрический ток (10-1000мкА), переменный электрический ток ($20-2\cdot10^4$ Гц, 0,1-2 мА/см^2) , переменное ЭП (0,5-30 В/см; $50-2\cdot10^4$ Гц), постоянное магнитное (0,02-0,03 Тл) и электрическое (200-400 В/см) поля, высокочастотное (40 МГц; 0,8 В/см) и СВЧ ЭМП (12,6 см; 0,08-5 мВт/см^2).

Постоянный электрический ток in vitro сокращает время рекальцификации, удлиняет тромбиновое время и способствует уменьшению концентрации фибриногена в плазме собак, бедной тромбоцитами. Следует отметить, что в этих опытах на аноде регистрируется отложение фибрина, пропорциональное силе действующего тока. Анализ коагулологических свойств плазмы позволяет сделать вывод, что в области катода уменьшается активность ряда плазменных факторов [20, 21]. По-видимому, эти сдвиги обусловлены в основном электролитическими феноменами, поскольку в подобных опытах используют металлические электроды. Высказывается мнение, что в этом процессе нельзя исключить и реакций ферментативной природы [22, 23].

Постоянный электрический ток в наших опытах способствовал агрегации кровяных пластинок при достаточно низкой амплитуде, приближающейся к величине тока, который генерируется в организме демаркационным потенциалом, возникающим при травматизации тканей. Установлено [24], что гепарин угнетает, а тромбин, адреналин, АДФ, холинхлорат, фибриноген ускоряет склеивание тромбоцитов.

Как известно, стабильность форменных элементов в кровотоке обеспечивается поверхностным электрическим зарядом. Отрицательный заряд образует атмосферу из противоионов и препятствует сближению клеток на расстояния, достаточные для образования межповерхностных химических связей. Постоянное ЭП, поляризуя ионную атмосферу, должно уменьшать силу отталкивания между клетками крови, способствуя их агрегации. Однако нельзя исключить и действия другого механизма стимулирующего эффекта. По-видимому, постоянный электрический ток увеличивает проницаемость тромбоцитарной мембраны по отношению к эндогенным индукторам агрегации (АДФ, адреналину, серотонину, тромбоксану А). Освобождение этих соединений из кровяных пластинок также будет активировать процесс оклеивания клеток. Аналогичным действием обладают используемые химические индукторы

агрегации. Возможно, этим обстоятельством объясняется синергическое действие электрического тока и фармакологических агентов на процесс склеивания тромбоцитов. Молекула гепарина в растворе имеет значительный отрицательный заряд, обусловленный диссоциацией сульфатных групп. Осаждение ее на поверхность тромбоцитов должно увеличивать электрокинетический заряд, препятствуя тем самым агрегации.

При микроскопическом исследовании установлено, что постоянный электрический ток вызывает склеивание форменных элементов крови и эмболизацию сосудистого русла у лягушек. Как и в предыдущих опытах адреналин, холинхлорат и АДФ ускоряли, а гепарин тормозил этот процесс.

Предварительное воздействие постоянным электрическим током (10–40 мкА) на верхнюю конечность человека достоверно уменьшает время кровотечения, что свидетельствует об активации микроциркуляторного гемостаза. Наибольшей эффективностью в этом случае обладает положительный электрод. Очевидно, в основе стимулирующего эффекта лежит способность тока изменять физико-химические свойства клеток и выделять из них вещества, ускоряющие агрегацию. Однако в этом процессе большое значение имеет освобождение коагулологически активных соединений из сосудистой стенки. Так, было показано, что постоянный электрический ток, проходящий через сосудистую стенку, способствует выделению из нее факторов свертывания крови, при этом анод в большей степени стимулирует выброс прокоагулянтов, а катод – веществ, угнетающих свертывание крови /25/. Несомненно, из сосудистой стенки могут выделяться также индукторы агрегации.

Гемостатическое действие постоянного электрического тока в настоящее время находит применение в клинической практике. Так, анод используется для гемостаза при оперативных вмешательствах на паренхиматозных органах /26/, для тромбирования аневризм /27/, остановки кровотечений из варикозно расширенных вен пищевода /28/. Отрицательный электрод предлагается использовать для угнетения свертывания крови в тех случаях, когда имеется опасность тромбообразования /29–31/.

ЭМП и МП угнетают свертывающую способность крови. В этом случае наиболее сильно подавляются тромбопластическая и фибриназная активности. Подобные сдвиги выявляются при действии физическим фактором как на кровь, так и на бестромбоцитную плазму. Однако в последнем случае ингибирующий эффект выражен в большей степени.

Существенный интерес представляет способность ЭМП воздействовать на фибринолиз. Удалось установить, что лизирующая способность крови снижается во всем исследованном диапазоне частот за исключением 1000 и 2000 Гц, где выявляется достоверное сокращение времени растворения сгустков. Стимулирующий эффект ЭМП регистрируется в области 1,5–3 В/см, в то время как при малых напряженностях эффект исчезает, а при больших интенсивностях поля наблюдается угнетение фибринолиза.

НЧ и СВЧ ЭМП ускоряют агрегацию кровяных пластинок, причем активируется в основном вторая фаза процесса, связанная с освобождением из

тромбоцитов эндогенных индукторов агрегации. Реакция сопровождается снижением электрокинетического потенциала и выделением из кровяных пластинок факторов 3,4 и соединений, угнетающих фибринолиз. Электронно-микроскопическое исследование таких тромбоцитов выявляет изменение их морфологии, особенно α-гранул, плотность которых после опыта уменьшается. Поскольку эти органеллы аккумулируют фактор 3, следует заключить, что ЭМП способствует выделению данного прокоагулянта в окружающую среду. ЭМП уменьшает электрокинетический заряд эритроцитов при воздействии как на организм, так и на экстрагированную кровь, снижает их гемолитическую резистентность и освобождает вещества, ускоряющие свертывание крови. В отдельных случаях из эритроцитов выделяются вещества с антигепариновой активностью и ингибиторы фибринолиза.

Результаты исследования реакций форменных элементов позволяют сделать вывод, что электромагнитные воздействия способствуют выделению факторов, ускоряющих гемокоагуляцию, уменьшают электрический заряд клеток и тем самым стимулируют агрегацию форменных элементов крови. При помощи кондуктометрического метода удалось выявить стимулирующее действие ЭМП на агрегацию клеток непосредственно в кровотоке экспериментальных животных. Все эти данные свидетельствуют о том, что биологические эффекты ЭМП на клеточном уровне реализуются в первую очередь за счет изменения свойств клеточных мембран.

Возникает вопрос о реакции системы свертывания крови при воздействии физического фактора на целостный организм. В проведенных опытах было показано, что переменный электрический ток при однократном воздействии подавляет свертывающую и фибринолитичеокую способность крови за исключением частоты 1000 Гц, на которой наблюдается ускоренный фибринолиз в крови человека, собаки и крысы. У человека стимуляция фибринолиза достигается подпороговым значением физического раздражителя, что имеет большое практическое значение. Детальный анализ явления при помощи фибриновых пластин показал, что физический фактор в большей степени подавляет ингибиторы фибринолиза (антиплазмин) по сравнению с активаторами. Поэтому обнаруженный феномен можно объяснить нарушением баланса факторов, принимающих участие в лизисе сгустка, в пользу активаторов данного процесса.

При действии переменного электрического тока на изолированную в гуморальном отношении сосудистую стенку собаки появляются факторы, ускоряющие овертывание крови и стимулирующие фибринолиз [32]. Следует ожидать, что подобный эффект является основой терапевтического применения электростимуляции мышц для активации фибринолиза у пациентов в послеоперационном периоде для профилактики тромбоза [33].

У крыс, находившихся в статическом ЭП в течение 10 дней, наблюдается резкое ускорение свертывания крови. В некоторых экспериментах не удавалось получить кровь, поскольку она коагулировала даже в присутствии антиксагулянта. Аналогичные результаты были получены в работе [33],

где показано, что статическое ЭП (10–50 кВ/м) через 24 ч ускоряет первую, вторую и начало третьей фазы свертывания крови.

Поскольку в процессе свертывания крови принимают участие не только плазменные факторы, но и коагулологические соединения сосудистой стенки и других тканей, важно выяснить, как изменяется активность тканевых соединений при воздействии ЭМП. После облучения мышей ЭМП СВЧ (80–120 мкВт/см^2, 15 мин) у них извлекали головной мозг, сердце, печень, икроножную мышцу и готовили из тканей экстракты в физиологическом растворе. В дальнейшем исследовали влияние этих гомогенатов на свертывающую и фибринолитическую активность плазмы собак, бедной тромбоцитами.

Результаты проведенных опытов доказывают, что однократное воздействие физическим фактором вызывает значительную стимуляцию коагулологической активности экстрактов. Одновременно резко возрастает способность экстрактов ускорять растворение фибриновых сгустков и увеличивается активность антигепаринового фактора. Облучение животных в течение 3 дней сопровождается угнетением коагулологической способности тканей. Фибринолитическая активность также уменьшается, однако остается более высокой, чем в контроле.

Изменение свертывающей способности тканей, подвергнутых облучению ЭМП, стимулировало исследования взаимосвязи этих сдвигов с динамикой показателей гемокоагуляции. Воздействие ЭМП СВЧ на свертывающую способность сердца и аорты крыс изучали в сопоставлении с показателями крови. После однократного облучения ЭМП СВЧ тромбопластическая активность в тканях возрастает, а в крови угнетается. Соответствующим образом изменяется лизирующая способность субстратов. Увеличение длительности экспериментов до 5 дней еще больше стимулирует свертывающую активность крови и тканей крыс. Фибринолитическая способность тканей в этих опытах достигает максимальной выраженности. Растворяющая активность крови угнетается еще больше, чем при однократном воздействии. Следует обратить внимание на значительное нарастание антитромбиновых свойств как аорты, так и миокарда. После облучения крыс в течение 15 дней отмечается новая волна коагулологической динамики. В крови животных, как и в тканях, выявляется стойкая гипокоагуляция, нарастает антитромбиновый эффект и резко угнетается фибринолиз. Результат анализа электрической активности при этом свидетельствует о значительном снижении вольтажа зубцов электрокардиограммы и выраженной брадикардии.

Исследование гемокоагуляционных свойств крови и тканей крыс, помещенных в НЧ ЭМП, показало аналогичные фазные изменения. Сразу после начала воздействия наблюдается уменьшение свертывающей активности крови и стимуляция тканевых соединений. Следует отметить ускорение фибринолиза в крови после экспериментального воздействия. На третий день опытов регистрируется гиперкоагулемия с одновременным угнетением тканевых факторов свертывания крови. Увеличение длительности опытного облучения

до 20 дней приводит к подавлению свертывающей и фибринолитической активности как тканей, так и крови.

Результаты исследования реакций системы свертывания крови на целостном организме показывают, что коагулологическая динамика является следствием изменения не только плазменных факторов, но и выделения тканевых соединений в кровоток.

Коллоидное состояние плазмы контролируется комплексом ферментных систем, из которых определяющее значение имеют энзимы, участвующие в первой фазе гемокоагуляции. В образовании коагулологически активных комплексов важную роль играют гидрофобно-гидрофильные взаимодействия, обеспечивающие конформационную сопряженность факторов свертывания крови [34].

В ЭМП свертывающая способность плазмы угнетается. Очевидно, физический агент нарушает пространственную структуру как простетических группировок ферментов, так и макромолекулярных матриц, на которых образуются активные комплексы. Доказательством подобного вывода могут служить эксперименты [35, 36], в которых выявлены физико-химические изменения биополимеров крови в ЭМП (изменение спектра поглощения, электрофоретических свойств и т.д.). Кроме того, в ЭМП изменяются физические свойства электролитов в результате образования аквакомплексов [37]. Наиболее важное значение при этом имеют гексааквакомплексы кальция, стабилизированные в полостях додекаэдрической структуры. Иммобилизация кальция, необходимого практически для всех фаз свертывания крови, должна приводить к гипокоагуляции [38]. Следствием подобных эффектов будет подавление тромбопластической активности, что и выявляется в экспериментах. По-видимому, аналогичные механизмы лежат в основе изменения фибринолитических свойств крови.

Наблюдающееся увеличение тромбопластической активности в тканях обусловлено, по-видимому, структурными повреждениями клеточных мембран, что подтверждается экспериментами по изучению изменения свойств форменных элементов крови, подвергнутых воздействию ЭМП. У "облученных" клеток уменьшается электрофоретическая подвижность, изменяются агрегационные свойства, повышается проницаемость по отношению к свертывающим факторам, изменяется транспорт электрогенных ионов K^+ и Na^+ [39].

Структурной основой клеточных мембран служат фосфолипиды (фосфатидилэтаноламин, фосфатидилсерин, фосфатидилхолин и др.), обладающие мощным тромбопластическим действием, поэтому освобождение их из мембран будет повышать свертывающую способность тканей. Поступление этих соединений в кровоток, по крайней мере из сосудистого эндотелия и эндокарда, приведет к активации свертывающей способности крови. Продолжительное воздействие ЭМП может вызвать истощение тканевых запасов прокоагулянтов, а также инактивацию их в кровотоке и тканях. В этом случае свертывающая способность крови и тканей должна уменьшаться, что и подтверждается экспериментальными данными.

С позиции рассмотренных представлений получает убедительное объяснение фазность тромбогеморрагических осложнений при геомагнитных возмущениях. Так, статистический анализ показывает, что наибольшее число инфарктов миокарда развивается в первые 24–48 ч от начала магнитной бури /40/. Очевидно, что в этот период существенным образом должна активироваться свертывающая система крови и угнетаться фибринолиз. В дальнейшем в зависимости от интенсивности геомагнитных возмущений может наступить снижение тромбопластической активности, нарастание концентрации антитромбинов с последующим кровотечением. Действительно, как показывают клинические наблюдения, наиболее часто кровотечения развиваются на 3–4-е сутки от момента развития магнитной бури /57/. Подобная фазность тромбогеморрагических проявлений обусловлена различной чувствительностью системы свертывания крови и временным сдвигом, необходимым для развития соответствующих физиологических реакций. Результирующий эффект определяется совокупностью изменений плазменных факторов, форменных элементов крови и тканей. При этом существенную роль играют нарушения клеточных мембран, которые, по-видимому, определяют интегративную реакцию системы свертывания крови. Важное значение для результирующего эффекта имеют интенсивность и длительность действия ЭМП, а также физиологическое состояние компонентов системы свертывания крови. Выраженность тромбогеморрагических реакций достигает максимального значения у пациентов, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями: активной формой ревматизма, атеросклерозом, гипертонической болезнью и др. В зависимости от этих факторов может измениться длительность отдельных фаз коагулологической динамики и степень их выраженности.

Выше были рассмотрены первичные механизмы действия ЭМП на компоненты системы гомеостаза. Однако не следует забывать, что гемокоагуляционный потенциал постоянно регулируется нейрогуморальным путем в пределах, отвечающих функциональному состоянию организма. Поскольку ЦНС обладает максимальной чувствительностью к воздействию ЭМП /41/, следует ожидать, что изменение свертывающей способности крови обусловлено не только первичными механизмами, но и реакциями центральных регуляторных систем. Действительно, облучение низкочастотными ЭМП рефлексогенных зон (каротидного синуса, дуги аорты) сопровождается закономерной стимуляцией свертывания крови /42/. Кроме того, нарушение электромагнитного режима будет обеспечивать стрессовую реакцию и должно активировать симпатс-адреналовую систему. Увеличение катехоламинов в крови при этом, с одной стороны, будет стимулировать свертывающую способность крови, а с другой – способствовать агрегации форменных элементов крови, провоцируя тромбоэмболизацию. В любом случае реакции системы свертывания крови на воздействие электромагнитных полей представляет сложный мультипараметрический процесс, в котором принимают участие все компоненты рассматриваемой системы.

Литература

I. Подшибякин А.К., Зосимович И.Д., Шахова В.И. и др. Геомагнитные возмущения и заболеваемость инфарктом миокарда. – Геофизика и астрономия. Информ. бюл., 1975, № 14, с. 191–195.

2. Рывкин Б.А., Рывкина Ф.З. К вопросу о влиянии внешних физических факторов на течение и исход инфаркта миокарда. – В кн.: Адаптация организма при физических воздействиях. Вильнюс, 1969, с. 277.

3. Гневышев М.Н., Новикова К.Ф., Оль А.И., Токарева Н.В. Скоропостижная смерть от сердечно-сосудистых заболеваний и солнечная активность. – В кн.: Воздействие солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с. 179–187.

4. Алабовский Ю.И., Бабенко А.Н. Смертность от сосудистых заболеваний головного мозга в годы с различным уровнем солнечной активности. – В кн.: Воздействие солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с. 189–190.

5. Петраник Е.И., Наврецкий В.В., Ажицкий Ю.А. и др. Частота легочных кровохарканий и кровотечений в период прохождения атмосферных фронтов и изменения магнитного поля Земли. – В кн.: Влияние электромагнитных полей на биологические объекты. Харьков, 1973, с. 71–73.

6. Рождеотвенская Е.Д., Новикова К.Ф. Влияние солнечной активности на фибринолитическую систему крови. – Клин. медицина, 1969, т. 47, № 7, с. 65–70.

7. Балуда В.П. Условия регуляции и нормализации гемостаза. – В кн.: Актуальные проблема гемостазиологии. М.: Наука, 1979, с. 14–26.

8. Douri P., Boisselier B., Bernard I.G. Effect pathologiques sur l'homme des rayonnements électromagnétiques U.H.F. Des aériens radars. A-propos d'une observation.–Sem.hôp.Paris, 1970, vol.46.№ 42, p.2681–2683.

9. Richardson A.W. Blood coagulation changes due to electromagnetic microwave irradiations. – Blood, 1959, vol. 14, № 11, p. 1237–1243.

10. Малолетина Л.А. Влияние гальванического тока на некоторые показатели гемостаза у кроликов. – В кн.: Актуальные вопросы невропатологии и нейрохирургии. Минск: Наука и техника, 1975, вып. 8, с. 202–209.

11. Левицкая Л.А., Кондратьева Н.И. Изменение свертывающей системы крови собак при электронаркозе, вызванном различными видами тока. – В кн.: Электросон, электроанестезия (электронаркоз). М., 1966, с. 56–58.

12. Нечаев Э.А., Сомова Т.В. Влияние электричеокой дефибрилляции сердца на свертывающую систему крови. – Кровообращение, 1973, т. 6, № 4, с. 61–62.

13. Рождественская Е.Д., Новикова К.Ф. Влияние солнечной активности на систему свертывания крови и частоту гемсррагических ссложнений. – В кн.: Адаптация организма при физических воздействиях. Вильнюс, 1969, с. 275–276.

14. Murphy P., Holly F., van Someren L. et al. Антитромбогенные свойст-

ва электризованных полимеров. – В кн.: Полимеры в медицине. М.: Мир, 1969, с. 152-167.
15. Чазов Е.И. Взаимоотношение атеросклероза и тромбоза. – В кн.: Матер. конф. по пробл. свертывания крови. Баку, 1966, с. 309-310.
16. Born G.V.R. Atherosclerosis and thrombosis. – Giorn.ital.cardiol., 1974, vol. 4, № 2, p. 230-236.
17. Кузник Б.И., Скипетров В.П. Форменные элементы крови, сосудистая стенка, гемостаз и тромбоз. М.: Медицина, 1974. 307 с.
18. Кузник Б.И. О роли форменных элементов крови и тканевых факторов сосудистой стенки в процессе гемостаза: Дис . ... д-ра мед. наук. Чита: Мед. ин-т, 1964.
19. Кузник Б.И., Мищенко В.П., Русяев В.Ф. О выделении факторов свертывания крови из сосудистой стенки при инъекции адреналина. – Cor et Vasa, 1969, т. II, № 2, с. 146-153.
20. Агеева Н.М. Активация агентов противосвертывающей системы в плазме. – В кн.: Матер. конф. по пробл. свертывания крови. Баку, 1966, с. 9.
21. Naumovski A., Dejanov J. The influence of constant electric current on the coagulation of blood. – Acta med. jugosl., 1964, vol. 18, № 1, p. 67-74.
22. Русяев В.Ф. К механизму действия постоянного электрического тока на процесс свертывания крови. – В кн.: Матер. 2-й науч. конф. межобл. о-ва патофизиологов Восточной Сибири и Дальнего Востока. Благовещенск, 1975, с. 73-74.
23. Duic L., Stinivasan S., Sawyer P.N. Electrochemical behaviour of blood cafgulation factors. – J.Electrochem. Soc., 1973, vol. 120, № 3, p. 348-353.
24. Setna S.S., Rosental R.L. Effect of physical and chemical agents on platelet morphology in Relation to coagulation. – Acta Haematol., 1958, vol. 19, № 4/5, p. 222-230.
25. Русяев В.Ф. Связь электрической поляризации сосудистой стенки с выходом факторов свертывания крови в общий кровоток. – В кн.: Теоретические и клинические вопросы проблемы свертывания крови. Саратов, 1968, с. 147-152.
26. Sawyer P.N., Dennis C., Wesolwski S.A. Electrical hemostasis in uncotrollable bleeding states. – Ann. Surg., 1961, vol. 154, № 4, p. 556-562.
27. Mullan S., Raimondi A.J., Dobben G., Vailati G., Hekmatpanch J. Electricaly induced thrombosis in intravascular aneurysms. – J.Neurosurg., 1965, vol. 22, № 6, p. 539-547.
28. Sawyer P.N., Wesolwski S.A. Development a tube for electrical thrombosis of esophageal varices. – Surg. Forum., 1962, № 13, p. 328-330.
29. Schwartz S.I. Prevention and production of thrombosis by alterations in electric enviropment. – Surg., Gynecol and Obstetr., 1959, vol. 108, № 5, p. 533-536.

30. Русяев В.Ф. Кондуктометрический метод исследования агрегации форменных элементов крови. – Мед. техника, 1976, № 1, с. 10–14.
31. Русяев В.Ф. Выброс факторов свертывания крови из сосудистой стенки при раздражении ее переменным электрическим током. – В кн.: Теоретические и клинические аспекты процессов незаболевания, заболевания и выздоровления. Иркутск: Мед. ин-т, 1973, с. 93–94.
32. Brose N.L., Negus D. Prevention of postoperative leg vein thrombosis by electricas musele stimulation. An evaluation with ^{125}J-labelled fibrinogen. – Brit.Med., 1970, vol. 3, № 5723, p. 615–618.
33. Медведев Б.М., Дядечко М.И. Влияние электризации полимерных материалов на свертывающую систему крови. – В кн.: Проблемы клинической биофизики. Влияние на организм статических электрических полей, аэроионов и электроаэрозолей. Рига, 1972, с. 63–66.
34. Vromen L. A resemblance between the clitting of blocd plasma and the breakdown of cytoplasma. – Nature, 1965, vol. 205, № 4970, p. 496–497.
35. Bellossi A., Pauran F. Effect d'un champ magnétique uniforme sur le sevum et le plasma. Etude spectrophotométrique. – C.r. Soc.Biol., 1973, vol. 166, № 6/7, p. 980–983.
36. Малышев В.М., Колесник Ф.А. Электромагнитные волны сверхвысокой частоты и их воздействие на человека. Л.: Медицина, Ленингр. отд-ние, 1968. 87 с.
37. Кисловский Л.Д. О метастабильных структурах в водных растворах. – Докл. АН СССР, 1967, т. 175, № 6, с. 1277–1299.
38. Кисловский Л.Д. О возможном молекулярном механизме влияния солнечной активности на процессы в биосфере. – В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.:Наука, 1971, с. 147–164
39. Штемлер В.М. Исследования авторегуляции ионного транспорта в эритроцитах при воздействии микроволн. – В кн.: IУ Всесоюз. конф. по бионике. М.; 1973, т. 3, с. 87–92.
40. Новикова К.Ф., Токарева Н.В., Гневышев М.Н., Оль А.И. Скоропостижная смерть от сердечно-сосудистых заболеваний и солнечная активность. – В кн.: Адаптация организма при физических воздействиях. Вильнюс, 1969, с. 242–244.
41. Холодов Ю.А., Шишло М.А. Электромагнитные поля в нейрофизиологии. М.: Наука, 1979. 168 с.
42. Боенко И.Д., Влияние ЭМП звукового и радиочастотного диапазона на транспорт газов и на процессы свертывания крови. – В кн.: Кровь и электромагнитные колебания низкой частоты. Воронеж, 1974 (Тр. Воронеж. мед. ин-та) т. 89, с. 69–87.

4. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА МЕТАБОЛИЗМ И АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ

4.I. Особенности обмена веществ и его регуляции при воздействии электромагнитных полей

Эпоха научно-технической революции и урбанизация связаны с возрастающими масштабами применения ЭМП во многих отраслях промышленности и народного хозяйства. В результате на рабочих местах некоторых производств и исследовательских лабораторий МП может достигать 50-90 мТл с возможным увеличением в несколько раз [1]. Путем обследования лиц, подвергавшихся действию МП в производственных условиях, установлены признаки нарушения у них обмена веществ, функций нервной, сердечно-сосудистой, эндокринной и других систем [2]. Следовательно, МП может оказывать существенное влияние на человека, если напряженность антропогенных полей значительно выше природных МП, к которым человек адаптирован в процессе эволюции. Однако рассматривать действие МП на человека и животных только как повреждающего фактора было бы неправильным, поскольку, изменяя характеристики поля и его экспозицию, можно получить различные, подчас диаметрально противоположные, эффекты [3]. Поэтому в последние годы все более широко и не без успеха используют МП в медицине для лечения ряда заболеваний.

Исследования на клеточном уровне свидетельствуют о высокой чувствительности к действию МП мембранных механизмов транспорта ионов, особенно калия, кальция, железа и др. [4-6]. Можно предполагать, что под влиянием МП меняется мембранный потенциал, о чем свидетельствует существенное изменение активности АТФаз, а также состояние дисульфидно-тиолового обмена [5-7]. Следовательно, на МП реагируют наиболее лабильные системы - химические и энергетические процессы, электрохимические реакции транспорта ионов, локализованные в мембранах. Эти реакции четко прослеживаются на органном и организменном уровнях. Так, при исследовании тканей мозга отмечено изменение электрической активности через секунды и доли секунд после воздействия МП. Меняются и некоторые химические свойства (способность к окрашиванию) астроцитов, но уже при более продолжительном сроке, исчисляемом минутами. Особенно чувствителен к действию МП гипоталамус [8].

При изучении влияния на метаболизм мозга низкочастотных слабых МП, сравнимых по напряженности с ГМП, установлено изменение конформации и свойств белков ткани мозга, дестабилизация липопротеидной основы клеточных мембран, изменение активности ферментов энергетического обмена, особенно АТФаз. Отмечается более четко выраженное снижение активности этих ферментов в опытах на животных по сравнению с данными на изолированных тканях [7]. Следовательно, действие МП на уровне организма обусловлено прямым или опосредованным воздействием на физико-химические процессы и регуляторные системы обмена веществ, в результате которого

изменяется окорость синтеза и распада биосубстратов в различных поли - ферментных системах. Эти прсцессы происходят как в ЦНС, так и в других системах. Однако мозг и оссбенно гипоталамо-гипофизарная область весьма чувствительны к действию МП, по-видимсму, вследствие чрезвычайной лабильности физикс-химических процессов в ее клетках, а также вследствие высокого положения их в иерархической лестнице регуляции, широкого комплекса прямых и сбратных связей. Поэтому стимуляция дея - тельности гипоталамо-гипофизарной сбласти тотчас же вызывает цепную реакцию активации ряда эндокринных органов-мишеней, а затем и многочисленных разветвленных метаболических процессов. Важнсе значение имеют и парагипофизарные пути регуляции.

О ведущей роли высших нейро-эндокринных центров в формировании от - ветной реакции на действие МП свидетельствуют данные об активации ги - пофиза, выбросе тропных гормснов, стимулирующих функции надпочечников, щитовидной железы, семенников /9/. При воздействии переменного МП 20 мТл, 50 Гц уже через 5-8 мин в крови возрастает уровень 11-оксикортикостероидов, достигая значительных величин через 15-30 мин. Удаление гипофиза снимает этот эффект /10/. Влияние МП проявляется, однако, не только при воздействии на весь организм, но и (в более ослабленном виде) на любую его часть.

Особенности эндокринного профиля дают основание предполагать, что под действием МП имеет место системная реакция желез внутренней секреции, в которой детерминирующим фактсром является активация гипоталамо-гипофизарнсй системы, вызванной раздражителем - магнитным полем. По-видимсму, эти реакции еще не очень хорошс сбалансированы и целенаправлены, однако они выполняют основную физиологическую функцию - повышают резистентность организма и характерны для "аварийной стадии" общего адаптационного синдрома Селье.

При увеличении срока непрерывной экспозиции до 6-24 ч активность всех звеньев гипофизарно-надпочечниковой системы остается повышенной, существенно увеличивается содержание в крови тироксина /11/, тестостерона /12/, изменяются показатели функции симпатоадреналсвой системы /13/. Известнс, что катехоламины гипоталамуса играют триггерную роль в регуляции адренокортикальной функции гипофиза, активация ее при стрессе характеризуется снижением уровня норадреналина в указанной области. Поэтому обнаруженное уменьшение норадреналина в гипоталамусе при действии МП /13/ можно рассматривать как показатель его активной реакции на действие физического фактора.

Следовательно, МП и при продолжительной непрерывной экспозиции оказывает существенно активирующее влияние на функциональное состояние гипоталамо-гипофизарной системы. Подтверждает этот вывод отсутствие изменений уровня 11-оксикортикостерсидов в крови при действии МП на гипофизэктомированных животных, а также предупреждение реакции симпатоадреналовой системы на воздействие МП при введении фенобарбитала, бло-

кирующего передачу импульсов от ретикулярной формации на кору мозга /13,14/. Под влиянием МП происходит накопление ацетилхолинсподобных веществ, угнетение ацетилхолинэстеразы /15/, повышение уровня серотонина в мышечной ткани /16/.

При воздействии МП промышленной частоты 20 мТл активируются процессы метаболизма, направленные на обеспечение энергетическсго гомеостаза органов, при этом мобилизуется гликсген, липиды, активируется глико - лиз, несколько снижается активность ряда ферментов цикла трикарбоновых кислот. При исследовании митохондрий отмечено повышение проницаемсстн мембран, ослабление энергетической регуляции дыхания и развитие низкоэнергетического сдвига.

Объяснением некоторых особенностей метаболизма в период продолжительного воздействия МП является высокая активность эндокринных желез, регулируемых тропными гормонами. В то же время существенной чертой гормонального профиля является снижение уровня свободного, биологически активного инсулина /17/, что свидетельствует о появлении признаков относительной инсулярной недостаточности.

Важным компонентом генеза биологической реакции на магнитное поле является наличие тканевой гипоксии, причиной которой являются расст - ройство гемо- и лимфодинамики с явлениями стаза /18/, повышение проницаемости оосудистых стенок и мембран, изменение свойств гемоглобина и эритроцитсв /19,20/.

Следовательно, при непрерывном продолжительном (6–24 ч) воздействии МП 20 мТл 50 Гц отмечается существенная активация процессов метаболизма, в регуляции которых определяющую роль играет повышенная функция гипоталамо-гипофизарной системы, активация желез, регулируемых тропными гормонами. В результате формируется новый уровень физиолсгической координации процессов обмена, направленных прежде всего на стабилизацию энергетического обеспечения мозга, сердца, семенников и других органов. Однако данные морфологических и биохимических исследований свидетельствуют о том, что этот новый уровень обменных процесоов не обеспечивает гомеостаз, поскольку в семенниках отмечается существенное нарушение сперматогенеза /21/, в миокарде видны очаговые нарушения структуры кардиомиоцитов и другие аномалии.

Поскольку определяющим фактором в формировании адаптивной реакции на всздействие МП является стимуляция центральных нейросерреторных механизмов, то уже через несколько часов после выключения поля исчезают признаки стимуляции эндокринных желеэ, еще больше снижается уровень свободного инсулина, в то же время прогрессируют изменения метаболизма, наблюдаемые в период воздействия МП, нарастают морфологические изменения в тканях. Меняется соотношение путей окисления гликозы за счет снижения интенсивнсстн аэробного и активации гликолитического пути, энергетически менее эффективного. Определенное значение в механизме компенсации имеет переключение дыхания на окиоление сукцината. Однакс

нарушения метаболизма не выходят за рамки функциональных сдвигов, так как опыты с введением стимуляторов эндокринных желез - АКТГ и хориогонадотропного гормона свидетельствуют о сохранении функциональных резервов, хотя и менее выраженных, чем у интактных животных. Следовательно, для периода репарации после многочасового непрерывного воздействия МП средней напряженности промышленной частоты характерно снижение активности эндокринных желез, регуляторами которых являются тропные гормоны гипофиза, прогрессирование структурных нарушений. Складывается впечатление, что ведущую роль в формировании адаптивной реакции в этот период играют не центральные, а тканевые механизмы, в основе которых лежит изменение функционального состояния митохондрий. Эти особенности обмена можно рассматривать как защитно-компенсаторные, поскольку они способствуют дальнейшей активации метаболизма.

Значительный практический интерес представляют данные о влиянии на организм многократного и хронического воздействия МП 20 мТл промышленной частоты. В отличие от однократного воздействия поля тех же параметров, применение его в течение 5 дней по 6,5 ч в сутки приводит к снижению активности гипоталамо-гипофизарной системы и регулируемых ею эндокринных желез. Причиной может быть истощение функции центральных звеньев системы, а также ограничение гормоногенеза в эндокринных железах. Об этом свидетельствуют данные о снижении уровня АКТГ в гипофизе, отсутствие выраженной реакции на введение стимуляторов - АКТГ и хориогонадотропного гормона.

Снижение функционального уровня эндокринной системы, в том числе инсулярного аппарата (уменьшение содержания в плазме крови не только свободного, но и иммунореактивного, и общего инсулина), в значительной степени определяет состояние процессов метаболизма. Отмечается существенное угнетение активности ферментов тканевого дыхания (включая сукцинатдегидрогеназу), активация аварийных гликолитических процессов. Центральным звеном является нарушение функции митохондрий - значительное повышение протонной проницаемости мембран, ослабление энергетического контроля дыхания, глубокий низкоэнергетический сдвиг, активация АТФаз [12,21]. По сравнению с изменениями, вызванными однократным воздействием МП, отмечается не только нарастание сдвигов метаболизма, но и появление иных качественных соотношений за счет включения новых защитно-компенсаторных механизмов.

Однако складывается впечатление, что несмотря на мобилизацию защитных механизмов полноценной адаптации не наблюдается, поскольку уровень нормальной функции органов в полном объеме не восстанавливается. В значительной мере это относится к оценке деятельности семенников. Видимо, в данной ситуации, как и при гипоксии, угнетение функции тестикул и снижение в них уровня метаболизма является формой адаптации и спасения индивидуального организма ценой утраты способности к воспроизведению, а, следовательно, и значимости для биологического вида.

Период восстановления после многократного воздействия МП значительно отличается от аналогичного времени при однократном сеансе. Выключение поля уже не знаменуется резким переходом в состоянии нейроэндокринной системы, поскольку при многократном воздействии не отмечалось ее активации. Соответственно не выявляется значительной динамики в показателях метаболизма в течение длительного времени. Восстановление показателей констатируется только через 3 недели после прекращения действия магнитного поля.

Столь существенные и длительные изменения структуры и функции, имеющие много общих черт с так называемым синдромом капилляротрофической недостаточности, дают основание рассматривать их как состояние "предболезни", поскольку оно характеризуется истощением процессов управления и регуляции, падением уровня функционирования организма в целом. Дальнейшее увеличение продолжительности воздействия МП приводит к еще более выраженному повреждению органов и особенно семенников /22/. Следовательно, хроническое многомесячное воздействие МП приводит к таким изменениям в организме, которые могут расцениваться как патологичес - кие, т.е. развивается переход в нозологическую стадию процесса.

Таким образом, в формирование характера и интенсивности ответной реакции на воздействие МП на уровне организма включается прежде всего нейроэндокринная система, физико-химические реакции клеток которой, по-видимому, более лабильны, чем в других тканях, а физиологическая роль определяется их местом на высшем уровне регуляции. Активация нейроэндокринной системы запускает сложную цепь метаболических реакций, направленных прежде всего на сохранение энергетического гомеостаза организма. При длительном или интенсивном воздействии МП может быть истощение энергетических и регуляторных ресурсов. Дискоординации тонко сбалансированных процессов обмена способствуют нарастание тканевой гипоксии, изменение сосудисто-тканевой проницаемости, которые могут развиваться и вследствие прямого действия МП. Детерминирующую роль в механизме метаболических реакций играет повышение проницаемости митохондриальных мембран, нарушение активноти дыхательных ферментов, ослабление энергетической регуляции процессов окислительного фосфорилирования. Дальнейшее развитие реакции характеризуется нарастанием морфологичеоких изменений и развитием патологического состояния, т.е. прослеживается развитие процесса по уровням: информация - энергия - структура.

Можно отметить несколько особенностей ответных реакций на МП. Причинами развития разнонаправленных отклонений от контрольного уровня при действии слабых МП (порядка 0,05 мТл) могут быть колебательные процессы структур, индивидуальные особенности системы, наложение внешних ЭМП или других физических факторов /19/. При морфологическом анализе тканей часто встречается мозаичность изменений: наряду с выраженными нарушениями структуры обнаруживаются практически неизменные участки. Можно предполагать, что реакция зависит от фазы клеточного цикла деления,

в которой они находятся в момент воздействия физического стимула, поскольку периоды митоза различаются по чувствительности к действию внешних факторов. Этот эффект не является прерогативой МП, он наблюдается при действии радиации и других факторов. Для МП характерна также обратимость вызванных им нарушений. Степень и продолжительность периода репарации зависит от характера и степени нарушений. При хронических воздействиях репарация затягивается на длительное время и может быть недостаточно полной.

При обобщении полученных данных о генезе сдвигов метаболизма и его регуляции под действием МП можно выделить несколько компонентов: I) нейроэндокринные сдвиги; 2) изменение проницаемости мембран митохондрий, клеток, сосудов; 3) возникновение энергетического дефицита; 4) развитие тканевой гипоксии; 5) нарушение метаболизма и процессов биосинтеза.

Наличие многих компонентов свидетельствует о сложном полипатогенетическом характере реакции, поскольку каждый из перечисленных факторов полностью не объясняет особенности воздействия МП на биологические объекты. Каждый из них в той или иной степени включается в реакции, вызванные любым стрессором, свидетельствуя тем самым о неспецифическом характере. В то же время известно, что в зависимости от специфики действия раздражителя и от биологических особенностей организма его реакции могут быть различными по интенсивности проявлений, срокам их воз - никновения, отдаленным результатам и т.д. /23/.
случае МП эта специфичность проявляется прежде всего в первичных физико-химических реакциях, которые в дальнейшем включают общие адаптивные неспецифические механизмы. Однако в них можно увидеть особенности, обусловленные характером стимула, его интенсивностью, продолжительностью, частотой. В этом плане действие МП имеет ряд отличительных черт, поскольку им свойственны высокая проницаемость, низкая энергия, отсутствие в организме специфических рецепторов для восприятия.

Низкая энергетическая значимость МП - причина разногласий между биологами и физиками в понимании механизма его действия на организм животного. Действительно, энергия МП недостаточна для разрушения пептидных, водородных и иных связей. Для изменения активности чистого фермента требуется поле порядка десятых долей Тл, слабо реагируют на МП изолированные митохондрии. К сожалению, физиками не учитывается, что в организме животного имеется созданная эволюцией специализированная регуляторная нейроэндокринная система, которая может преобразовать ничтожный по энергии информационный сигнал в мощную цепную адаптивную метаболическую реакцию, когда казалось бы незначительные вмешательства могут привести к невероятным по масштабам, на первый взгляд, неадекватным последствиям /24/. Именно поэтому необходимо детальное изучение действия поля не только на электронно-молекулярном, клеточном, но главным образом на организменном уровне, поскольку, изменяя напряжен-

ность, частоту, продолжительность воздействия МП, можно вызвать активацию или угнетение процессов обмена веществ /9/, а длительные хронические воздействия могут привести к патологическим изменениям в организме. Это прежде всего относится к семенникам вследствие их высокой магниточувствительности.

Литература

I. Вялов А.М. Клинико-гигиенические и экспериментальные материалы к обоснованию предельно допустимого уровня магнитных полей в условиях производства. – В кн.: Гигиеническая оценка магнитных полей. М.: Наука, 1972, с. 7–14.

2. Рубин В.И., Мельникова Г.Я., Довбуш Э.Г., Денисова С.Г., Гарцуева В. Некоторые показатели энергетического и углеводного обменов у лиц, работающих в магнитных полях. – В кн.: Применение магнитных полей в клинике. Куйбышев, 1976, с. 117.

3. Гаркави Х.Л., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентность организма. Ростов н/ Д : Изд-во Рост. ун-та, 1979. 126 с.

4. Богач П.Г., Давидковская Т.Л. Влияние постоянного магнитного поля на ионную проницаемость мембран клеток гладких мышц. – В кн.: Клиническое применение магнитных полей. Ижевск: Удмуртия, 1977, с. 9–10.

5. Иванова С.Н. Некоторые биофизические аспекты механизма действия магнитных полей на структурные компоненты крови. – В кн.: Применение магнитных полей в медицине, биологии и сельском хозяйстве. Саратов: изд-во Сарат. ун-та, 1978, с. 33–37.

6. Жданова Н.Ф. Исследование системы медиаторных рецепторов в сердце и влияние на нее постоянного магнитного поля: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МОЛГМИ, 1976, 24 с.

7. Павлова Р.Н., Музалевская Н.И., Соколовский В.В. Некоторые биохимические аспекты действия слабых низкочастотных магнитных полей. – В кн.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, с. 49–58.

8. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975. 208 с.

9. Удинцев Н.А., Мороз В.В. О механизме реакции гипофизарно-надпочечниковой системы на стрессовое действие переменного магнитного поля. – Патол. физиология и эксперим. терапия, 1976, № 6, с. 72–74.

10. Меркулова Л.М. Морфо-гистохимические изменения в скелетных мышцах животных при действии импульсного электромагнитного поля: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Казань: Мед. ин-т, 1975. 16 с.

11. Колесова Н.И., Волошина Э.И., Удинцев Н.А. К патогенезу инсулиновой недостаточности при действии переменным магнитным полем промышленной частоты. – Патол. физиолгия и эксперим. терапия, 1978, № 6, с. 71–73.

I2.Торощев И.В. Морфологическая характеристика биологического действия магнитных полей. - Арх. патологии, I968, т. 30, № 3, с. 3-I2.
I3.Барсегян Л.Х. Исследование действия постоянного магнитного поля на физико-химические свойства гемоглобина, активность цитохром-С-оксидазы, концентрации свободных радикалов in vitro и in vivo: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: Ин-т медико-биол. проблем, I974. I9 с.
I4.Щепетильникова А.И. Морфогистохимическая характеристика семенников при воздействии магнитными полями. - В кн.: Влияние магнитных полей на семенники. Томск: изд-во Том. ун-та, I980, с. 64-85.
I5.Бордюшков Ю.Н., Гашникова Л.И., Квакина Е.Б. Реакция эндокринной системы на воздействие низкочастотным переменным и постоянным магнитным полем. - В кн.: Гигиеническая оценка магнитных полей. М.: Наука, I972, с. 48-52.
I6.Удинцев Н.А., Канская Н.В. Влияние магнитных полей на сердце. Томск: изд-вс Том. ун-та, I977. I24 с.
I7.Васильев Г.А., Медведев Ю.А., Хмельницкий О.К. Эндокринная система при кислородном голодании. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, I974. I72 с.
I8.Казначеев В.П. Биосистема и адаптация. Новосибирск: Наука, Сиб. отдние, I973. I25 с.
I9.Удинцев Н.А., Мороз В.В. Реакция гипофизарно-надпочечниковой системы на действие переменного магнитного поля. - Бюл. эксперим. биологии и медицины, I974, т. 57, № 6, с. 5I-53.
20.Евтушенко Г.И., Колодуб Ф.А., Островская И.С., Максименко Н.В. Влияние импульсного электромагнитного поля низкой частоты на организм. Киев: Здоровье, I978. I32 с.
2I.Удинцев Н.А., Хлынин С.М. Влияние магнитного поля на семенники. Томск: Изд-во Том. ун-та, I980, I26с.
22.Серебров В.Ю. Влияние переменного магнитного поля и антигена на функциональное состояние щитовидной железы и некоторые метаболические звенья, чувствительные к тиреоидным гормонам: Автореф. дис.... канд. мед. наук. Томск: Мед. ин-т, I980. 20 с.
23.Горизонтов П.Д. Гомеостаз. М.: Медицина, I976, 429 с.
24.Жданов Ю.А. Пусковая причинность. - Вопр. философии, I976, № 6, с. 87-92.

4.2. Действие электромагнитных полей различных частотных диапазонов на метаболизм и ферментные системы организма

К настоящему времени убедительно доказано, что ЭМП различных диапазонов обладают выраженным биологическим действием /I-3/. Несмотря на существование различных точек зрения относительно первичных физико-химических механизмов взаимодействия ЭМП с биообъектами, большинство исследователей единодушны в том, что ЭМП оказывает влияние прежде всего

на физико-химические процессы, а через них и на скорость биохимических реакций, а также на состояние регулирующих их систем. Именно нарушения этих процессов можно считать пусковыми, обусловливающими проявление биологических эффектов ЭМП на клеточном, органном и системном уровнях /4/.

Анализ имеющихся в литературе экспериментальных и клинических данных позволяет констатировать, что под влиянием ЭМП широкого диапазона частот в организме животных и человека возникают выраженные расстройства в сфере углеводного /2, 5-8/, энергетического /2, 7-11/, белкового /2, 12, 13/, азотистого /2, 5, 6, 12-15/, липидного /2, 12, 16/, нуклеинового /2, 6, 17, 18/ и электролитного /2, 15/ обменов, а также в отдельных звеньях эндокринной системы регуляции метаболических процессов /2, 7, 8, 19/.

В некоторых работах предприняты попытки уточнить возможные биохимические механизмы влияния ЭМП на интенсивность окислительных процессов и их сопряжение с фосфорилированием /2, 9-11/. Получены убедительные данные /7,8/ о роли ферментных и эндокринных систем в возникновении расстройств углеводно-энергетического обмена в печени, сердце и семенниках при воздействии ЭМП ИНЧ (50 Гц). Корреляция между изменениями уровня нуклеиновых кислот и активностью их деполимераз в органах экспериментальных животных выявлена при облучении ЭМП СВЧ и ОВЧ /2, 17, 18/. Следует отметить, однако, что в подавляющем большинстве работ изучение состояния биохимических процессов проводилось не комплексно, что не позволяет установить причинно-следственные связи между изменяющимися метаболическими показателями, их зависимость от интенсивности и частоты ЭМП. Кроме того, экспериментальные исследования выполнены на различных видах животных, что затрудняет экстраполяцию данных с одного вида животных на другой, а тем более на организм человека.

В связи с изложенным нами проведены систематические исследования по изучению особенностей влияния ЭМП различных диапазонов на биохимические процеосы в организме. На белых крысах изучено влияние электрических и магнитных составляющих ЭМП в диапазонах 48 МГц, 70 кГц, 7 кГц, а также магнитной составляющей с частотой 50 Гц в непрерывном (ЭМП) и импульсном (ИЭМП) режимах генерации.

Полученные данные свидетельствуют о многообразии нарушений обменных процессов, возникающих в организме под влиянием ЭМП исследованных параметров. Степень их выраженности, как это наиболее отчетливо установлено нами на примере магнитной составляющей, определяется частотой, режимом модуляции (непрерывный, импульсный), напряженностью и экспозицией воздействия (табл. 6.).

Остановимся на особенностях нарушений метаболизма, возникающих при действии на организм магнитной составляющей импульсного ЭМП частотой 7 кГц. Результаты исследований /20/ свидетельствуют о том, что общим для всех исследованных органов (головной мозг, печень, сердце, скелет-

Таблица 6. Действующие и пороговые напряженности (А/м) переменных МП различных частот, оказывающие влияние на биохимические процессы в организме

Частота поля	Характер генерации	Действующие напряженности		Пороговые напряженности
		Многократное воздействие (15–25 сеансов)	Хроническое воздействие (6 мес.)	Хроническое воздействие (6 мес.)
48 МГц	Непрерывный	10	2	1
70 кГц	- " - " -	50	50	5
7 кГц	- " - " -	2400	750	75
7 кГц	Импульсный	72000	24000	2400
50 Гц	Непрерывный	32000	7500	75
50 Гц	Импульсный	7500	7500	750

ные мышцы) явилось разобщение процессов окисления с фосфорилированием, обусловленное влиянием ИЭМП на компоненты электронно-транспортной цепи митохондрий (снижение уровня восстановленного никотинамидадениндинуклеотида, угнетение активности цитохром-С-оксидазы); нарушение углеводного обмена, проявляющееся в снижении уровня гликогена с одновременным накоплением молочной и пировиноградной кислот; возникновение дефицита макроэргических соединений (аденозинтрифосфорная кислота, креатинфосфат). В азотистом метаболизме наиболее характерным явилось накопление аммиака в крови, печени, сердечной, скелетной мышцах и семенниках. Несмотря на однонаправленность изменений в уровне аммиака, биохимические механизмы, обусловившие эти изменения, различны. Так, в печени воздействие ИЭМП угнетало образование аммиака из адениловой кислоты, но ускоряло распад белков, нарушало процессы устранения аммиака в форме мочевины, но приводило к компенсаторному усилению связывания его в виде глютамина [21]. В сердце [22] и скелетных мышцах [23] усиление образования аммиака происходило вследствие активации аденоэин- и аденилатдезаминазы в отсутствие соответотвующего усиления процессов, приводящих к его связыванию. В тканях мозга в зависимости от интенсивности действующего поля преобладало либо замедление (72 кА/м), либо интенсификация (24 кА/м) процессов аммиакообразования с сопутствующим замедлением связывания аммиака [24]. Различным было влияние напряженности ИЭМП и на обмен нуклеиновых кислот [25,26]. Так, если под действием поля напряженностью 72 кА/м происходило снижение содержания РНК и ДНК вследствие активации деполимераз нуклеиновых кислот в головном мозге, печени и семенниках, то под влиянием ИЭМП напряженностью 24 кА/м содержание РНК снижалось только в семенниках. Изменения же содержания ДНК носили фазный характер. Следовательно, в зависимости от параметров внешнего

поля и специфики обмена веществ в том или ином органе механизмы возникновения и развития нарушений обменных процессов различны.

Направленность изменений отдельных видов обмена веществ существенно зависит от частотной характеристики ЭМП и режима его модуляции. В частности, для всех исследованных диапазонов частот (48 МГц, 70 кГц, 7 кГц, 50 Гц) наблюдалось снижение интенсивности процессов анаэробного гликолиза. Импульсный режим генерации ЭМП 7 кГц и 50 Гц по сравнению с непрерывным приводил в большинстве случаев не к замедлению, а, напротив, к интенсификации процессов анаэробного гликолиза.

Следует отметить наличие зависимости характера биохимических изменений от составляющих поля. Действие электрической составляющей ЭМП частотой 70 и 7 кГц в основном сопровождается повышением содержания молочной кислоты и аммиака в тканях, что связано с нарушением окислительных превращений углеводов и снижением активности систем, устраняющих избыток ионов аммония. При облучении биообъекта магнитной составляющей ЭМП в том же диапазоне отмечалось снижение содержания глюкозы, аммиака и глютамина и повышение амидного азота белков /5,27/.

Различие в действии магнитной и электрической составляющих еще более четко прослеживается по их влиянию на азотистый метаболизм нервной ткани под влиянием ЭМП 48 МГц. Для магнитного поля 48 МГц характерно снижение содержания аммиака, обусловленное повышением интенсивности амидирования белков мозга, тогда как при действии электрической составляющей, приблизительно равной по энергии магнитной, отмечается накопление аммиака, вызванное снижением активности процессов синтеза глютамина и амидирования белков /5,27/.

Чем же обусловлены эти различия?

Ответ на этот вопрос, как следует из проведенных исследований /5, 20, 22, 24, 27-29/, заключается в различном влиянии ЭМП отдельных частотных диапазонов и режимов их генерации на кинетику ферментативных реакций. О возможности непосредственного воздействия ЭМП исследованных параметров на конформацию белков-ферментов тканей указывают полученные нами данные /30/ об изменении электрофоретической подвижности сывороточных белков, что обусловлено изменением количества реакционноспособных групп белковых молекул, и, в частности, амидных и сульфгидрильных.

При обсуждении вопроса о возможных механизмах влияния ЭМП на активность ферментов следует учитывать и данные об изменении соотношения в клетках свободной и связанной воды. В частности, изменение структурированности воды в тканях может вызвать изменение под действием ИЭМП и ЭМП ОВЧ кинетики ферментативных реакций /4,27/. Для одних ферментов (глютаминсинтетаза печени, аденилатдезаминаза мозга, печени, сердца и мышц, рибонуклеаза и аденозинтрифосфатаза мозга, дезоксирибонуклеаза печени и семенников) ИЭМП выступает в роли активатора, тогда как для других (каталаза и псевдохолинэстераза крови, глютаматдегидрогеназа печени, цитохромоксидаза, кретинкиназа, холинэстераза, глютаминсинте-

таза, дезоксирибонуклеаза мозга) ЭМП является своеобразным ингибитором. На активность таких ферментов, как пероксидаза крови, лактатдегидрогеназа мозга, печени и семенников, гексокиназа мозга, цитохромоксидаза печени, глютаминаза мозга и печени, поле вообще не оказывает существенного влияния.

Важно подчеркнуть, что in vivo даже на один и тот же фермент ЭМП оказывали разное влияние в зависимости от его органной принадлежности. При объяснении этого факта не должно возникать, по-видимому, серьезных затруднений, так как известно, что ферменты, катализирующие одну и ту же реакцию, но локализованные в различных органах, зачастую отличаются по аминокислотному составу. Именно это обусловливает оптимальные значения pH среды и т.д. В связи с изложенным становится понятным, что при одинаковом изменении структурированности воды степень изменений активности ферментов и их направленность будет различной, что вызвано различной степенью конформационных изменений в белках-ферментах.

Весьма характерна для действия ЭМП различных диапазонов их способность изменять интенсивность окислительных процессов, а для отдельных диапазонов ЭМП /2, 8-II, 20, 27, 28/ - и сопряженность процессов окисления с фосфорилированием. Следствием этого является изменение при воздействии ЭМП 7 кГц и 50 Гц соотношения окисленной и восстановленной форм никотинамидадениндинуклеотида и флавопротеидов /27-29/. Конкретный механизм этого явления не ясен. Возможно, что он связан с нарушением структурной целостности митохондриальных мембран /3I/.

С целью экспериментальной проверки высказанного предположения нами была предпринята попытка in vitro выяснить возможность непосредственного влияния ЭМП как на структуру и функциональную активность митохондрий, так и на активность некоторых ферментов, изменявшихся при действии ЭМП на целостный организм. Установлено, что облучение ферментативных экстрактов лактатдегидрогеназы, цитохромоксидазы мозга, печени, рибо- и дезоксирибонуклеаз мозга, печени и семенников (ИЭМП, 72 кА/м), креатинкиназы мозга и аденозинтрифосфатазы мозга и печени крыс (ЭМП E = I кВ/м, $\mathcal{H}$ = 800А/м) не оказывало влияния на активность ферментов. Эти данные дают основание полагать, что изменения активности ферментов, возникающие под влиянием ЭМП in vivo не являются следствием непосредственного влияния полей на конформацию и каталитические свойства ферментов, а обусловлены, по-видимому, нарушением регулирующих систем.

Показано /32/, что ЭМП оказывают существенное влияние на функциональное состояние мозгового и коркового слоя надпочечников, что проявляется в снижении уровня адреналина в надпочечных железах при действии ИЭМП, ЭМП 70 кГц и в его повышении под влиянием ЭМП 7 кГц и 50 Гц, а также в увеличении концентрации II-оксикортикостероидов в плазме крови под влиянием ЭМП 4I МГц, 70 кГц, 7 кГц и 50 Гц.

По современным представлениям, важная роль в регуляции азотистого

обмена принадлежит стероидным гормонам, в частности андрогенам. Показано /33/, что под влиянием ИЭМП содержание тестостерона в оттекающей от семенников крови снижается с I,32±0,35 мкг% у контрольных животных до 0,23±0,0I мкг% у облученных крыс.

Естественно предположить, что недостаток тестостерона в организме мог повлиять на интенсивность и направленность отдельных биохимических процессов. С целью проверки этого предположения после воздействия ИЭМП на гонадэктомированных крыс, одновременно получавших тестостерон, были определены биохимические показатели. Установлено, что гонадэктомия крыс-самцов приводит к сдвигам, аналогичным тем, которые возникали при облучении их ИЭМП. Введение тестостерон-пропионата (I мг/кг) животным, подвергнутым воздействию ИЭМП, не влияет на сниженный уровень гликогена во всех исследованных органах, но корригирует содержание молочной кислоты и аммиака и увеличивает уровень РНК в печени. Полученные данные подтверждают предположение о роли нарушений в системе гипофиз-гонады в возникновении и развитии некоторых метаболических расстройств в организме.

Наряду с этим изменения отдельных биохимических процессов, в частности отклонения в сопряженности процессов окисления с фосфорилированием, при действии ЭМП ОВЧ, ОНЧ и ИНЧ не могли быть объяснены сдвигами концентрации адреналина, глюкокортикоидов и тестостерона в организме.

Среди всех гормонов наибольшим разобщающим эффектом обладают тиреоидные гормоны. Это послужило основанием для предположения о том, что именно с дисфункцией щитовидной железы могли быть связаны наблюдаемые сдвиги процессов окислительного фосфорилирования. Такое предположение представлялось тем более вероятным, что при воздействии ИЭМП и ЭМП НЧ (70 кГц) обнаруживались морфологические признаки гиперфункции щитовидной железы /34/. Прямые доказательства роли гиперфункции щитовидной железы в механизме разобщающего эффекта ЭМП, в частности ИЭМП, были получены /35/ при введении мерказолила. Одновременные с облучением инъекции указанного тиреостатика в дозах 0,8–3,2 мг/кг предотвращали разобщение процессов окисления с фосфорилированием. Полученные данные являются дополнительным аргументом в пользу того, что развитие многочисленных отклонений в метаболизме, возникающих при действии различных диапазонов обусловлено сдвигами нейроэндокринных систем регуляции.

Таким образом, под влиянием ЭМП различных частотных диапазонов в организме животных и человека возникает комплекс метаболических сдвигов, затрагивающий практически все известные виды обмена веществ, включая обмен углеводов, белков, аминокислот, липидов, нуклеиновых кислот, медиаторов и гормонов. Степень выраженности возникающих изменений, их направленность, как правило, зависят от экспозиции и физических параметров (частоты, составляющей поля, режима модуляции, скважности, напряженности) действующего поля. Основой возникающих биохимических сдвигов

является извращение кинетики ферментативных реакций, обусловленное изменением под влиянием ЭМП физико-химических условий проявления каталитической активности ферментов вследствие изменения структурированности воды, ионного транспорта, возникновения индукционных токов, с одной стороны, и нарушения нейрогуморальных систем регуляции метаболических процессов - с другой.

Литература

I. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 287 с.

2. Думанский Ю.Д., Сердюк А.М., Лось И.П. Влияние электромагнитных полей радиочастот на человека. Киев: Здоровье, 1975. 205 с.

3. Холодов Ю.А. Реакция нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975. 206 с.

4. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И.,О биохимических механизмах воздействия на организм животных электромагнитных полей различных диапазонов. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т. I, с. 190-198.

5. Мищенко Л.И. Влияние электромагнитных полей ультравысокой частоты на биохимические процессы в нервной ткани животных: Автореф. дис.... канд. биол. наук. Харьков; Мед. ин-т, 1970. 18 с.

6. Мищенко Л.И., Евтушенко Г.И. Влияние переменного электромагнитного поля на обмен углеводов и азотистых веществ в организме животных. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. Калининград; Изд-во Калинингр. ун-та, 1975. с. 129-130.

7. Удинцев Н.А., Канская Н.В. Влияние магнитных полей на сердце. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1977. 120 с.

8. Удинцев Н.А., Хлынин С.М. Влияние магнитных полей на семенники. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1980. 126 с.

9. Файтельберг-Бланк В.Р., Сивориновский Г.А. Биоэнергетика организма животных при действии ультразвука и электромагнитных полей 3,2 см диапазона. - В кн.: Влияние физических стимуляторов на организм и продуктивность сельскохозяйственных животных и птиц. Одесса, 1975, с. 89-96.

10. Шило М.А., Кубли С.Х., Нужный В.П. Биоэнергетика и регулирующие системы организма при действии магнитных полей. - В кн.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, с. 81-102.

11. Рудиченко В.Ф. Некоторые аспекты энергетического обмена у животных, облученных ЭМП промышленной частоты. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т. I, с. 51-53.

12. Павлова И.В., Дрогичина Э.А., Гельфон И.А., Садчикова М.Н. Биохимические изменения при хроническом воздействии ЭМП сверхвысоких час -

тот. – В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. М., 1968, с. 124 – 126.

13. Гончарова Н.Н., Карамышев В.Б., Максименко Н.В., Островская И.С. Результаты комплексного изучения влияния ЭМП метрового диапазона. – Там же, с. 29-31.

14. Сынгаевская В.А., Игнатьева О.С., Синенко Г.Ф. Биохимические изменения в организме животных и людей при СВЧ воздействии. – В кн.: Принципы и критерии оценки биологического действия радиоволн. Л.: 1973, с. 34-36.

15. Лазаревич В.Г. Влияние электромагнитных полей на обмен веществ в организме. Львов: Вища школа, 1978. 113 с.

16. Чудновская И.В., Воробьев Ю.А. Состояние здоровья и некоторые биохимические показатели у работающих с СВЧ полем. – В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. М., 1972, с. 23-24.

17. Никогосян С.В. Влияние 10-см волн на содержание нуклеиновых кислот в органах животных. – В кн.: О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот. М., 1964, с. 66-67.

18. Вибе Б.Г. Исследование физиологических механизмов действия высокочастотных электромагнитных полей на обмен нуклеиновых кислот во внутренних органах: Автореф. дис... д-ра биол. наук. Одесса, 1971. 29с.

19. Мурашов Б.Ф., Краснобаев П.Е. Реакция гипоталамогипофизарнонадпочечниковой системы при воздействии СВЧ поля. – Воен.-мед. журн., 1975, № 1, с. 57-61.

20. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И. Биохимические аспекты биологического действия импульсных электромагнитных полей низкой частоты. – Гигиена труда и профзаболевания, 1972, № 6, с. 13-17.

21. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И. Нарушения обмена веществ и функционального состояния печени при воздействии импульсного электромагнитного поля низкой частоты. – В кн.: Гигиена труда и профзаболевания, 1974, № 2, с. 11-13.

22. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И. Нарушения метаболизма сердца при воздействии импульсного электромагнитного поля низкой частоты. – Кардиология, 1972, т. 12, № 7, с. 101-105.

23. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И. Особенности обмена веществ в скелетных мышцах крыс под влиянием импульсного электромагнитного поля низкой частоты. – Укр. биохим. журн., т. 43, № 3, с. 356-361.

24. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И. Особенности азотистого обмена головного мозга крыс при действии импульсного электромагнитного поля низкой частоты. – Укр. биохим. журн., 1972, т. 42, № 3, с. 307-311.

25. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И. Особенности азотистого и нуклеинового обмена головного мозга крыс при изменении функционального состояния ЦНС, вызванного импульсными электромагнитными полями. – В кн.: IУ Всесоюз. конф. по нейрохимии. Л., 1972, с. 81.

26. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И. Особенности нарушений метаболизма семенников при воздействии импульсных магнитных полей. – В кн.: Гигиеническая оценка магнитных полей. М., 1972, с. 85–88.
27. Колодуб Ф.А., Мищенко Л.И. Биохимические аспекты воздействия на организм электромагнитных полей различных диапазонов. – В кн.: Актуальные вопросы гигиены труда и профпатологии в машиностроительной и химической промышленности. Харьков, 1973, с. 76–79.
28. Колодуб Ф.А., Чернышева О.Н. Особенности углеводно-энергетического и азотистого обмена в головном мозгу крыс под влиянием магнитных полей промышленной частоты. – Укр. биохим. журн., 1980, т. 52, № 3, с. 299–304.
29. Колодуб Ф.А., Чернышева О.Н., Евтушенко Г.И. Особенности метаболизма сердца крыс под влиянием переменных магнитных полей различных параметров. – Кардиология, 1981, № 4, с. 82–85.
30. Колодуб Ф.А. Влияние импульсного электромагнитного поля низкой частоты на углеводно-энергетический и азотистый обмен организма: Автореф. дис.... канд. мед. наук. Харьков, 1970. 19 с.
31. Колодуб Ф.А., Синица И.Н. Структура и функциональная активность митохондрий при воздействии импульсных магнитных полей. – В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. Калининград: Изд-во Калининград. ун-та, 1975, с. 153.
32. Евтушенко Г.И., Колодуб Ф.А., Островская И.С., Максименко Н.В. Влияние импульсных электромагнитных полей низкой частоты на организм. Киев: Здоровье, 1978. 130 с.
33. Евтушенко Г.И., Колодуб Ф.А., Островская И.С., Тимченко А.Н., Чернышева О.Н. Морфо-функциональное состояние системы гипофиз-гонады при воздействии на организм электромагнитных полей различных диапазонов. – Гигиена труда и проф. заболевания, 1976, № 6, с. 52–54.
34. Яшина Л.Н. К оценке функционального состояния щитовидной железы при воздействии электромагнитных полей различных диапазонов. – В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. Калининград: Изд-во Калинингр. ун-та, 1975, с. 123–124.
35. Колодуб Ф.А., Чернышева О.Н., Синица И.Н. Роль тиреоидных гормонов в механизме разобщающего действия электромагнитных полей на процессы окислительного фосфорилирования. – В кн.: IУ Всесоюз. биохимический съезд. М., т. 2, 1979, с. 101.

4.3. Изменение ферментативной активности лейкоцитов при действии электромагнитных полей на организм

В ряде работ последних лет [1-3], посвященных изучению активности ферментов клеток крови, показано, что при различных физиологических и патологических состояниях происходят существенные изменения показателей активности дегидрогеназ циркулирующих лимфоцитов, причем метаболизм лимфоидной системы весьма полно отражает состояние организма. При параллельном проведении количественной оценки активности ферментов лимфоцитов и органов с последующей корреляционной обработкой данных оказалось, что существует определенная взаимосвязь между показателями метаболизма лимфоцитов и органов (в частности, миокарда) при различных состояниях: гипоксии [1], развитии криза отторжения пересаженного сердца [4], при физиологически протекающем онтогенезе [3]. Наличие корреляционных связей между ферментами лимфоцитов и органов и сила этих связей зависят от состояния организма. Чем тяжелее патологическое состояние организма, тем больше ферментный статус лимфоцитов отражает изменения во внутренних органах.

Показано, что периферические лимфоциты по уровню активности дигидрогеназ делятся на две субпопуляции: меньшую (10-15% лимфоцитов с высокой активностью окислительно-восстановительных ферментов) и большую (85-90% клеток с низкими значениями активности ферментов), причем эти соотношения могут меняться в зависимости от характера воздействия различных факторов на организм [5]. При некоторых патологических состояниях организма средняя активность ферментов лимфоцитов не изменяется и о сдвигах в организме можно судить, лишь используя статистические параметры распределения лимфоцитов по активности фермента.

Таким образом, особенности изменений активности дегидрогеназ лимфоцитов позволяют использовать цитохимические показатели для оценки характера течения различных заболеваний (инфаркта миокарда, пневмонии, бронхиальной астмы, лейкоза и др.).

В настоящее время накоплен обширный экспериментальный материал, доказывающий влияние ЭМП на различные характеристики крови (свертываемость, СОЭ, число лейкоцитов и др.). Показано также, что при гелиогеомагнитных возмущениях увеличивается число случаев сердечно-сосудистых катастроф [6, 7].

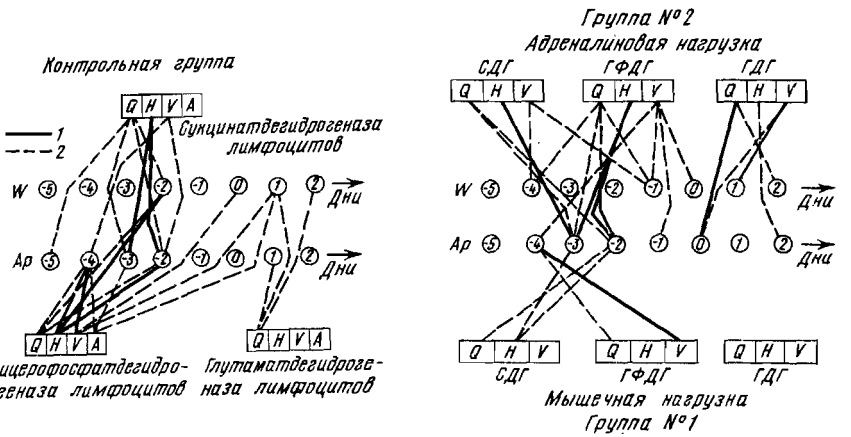
Цель наших исследований – проверка предположения о возможном влиянии изменений параметров внешней среды на сдвиги в показателях метаболизма лимфоцитов и миокарда.

Эксперимент был проведен на мышах линии $C_{57}Bl/6$. Выбор животных обусловлен, в частности, высокой интенсивностью обмена веществ, что в некоторой степени имитирует интенсивный метаболизм у человека на ранних этапах жизни. В работе использованы количественные цито- и гистохимические методы определения активности сукцинатдегидрогеназы (СДГ), глицерофосфатдегидрогеназы (ГФДГ) и глутаматдегидрогеназы (ГДГ) в лим-

фопитах и миокарде /8/. Выбор этих ферментов обусловлен тем, что их активность и ее изменения характеризуют состояние основных метаболических путей в клетке. За активность фермента в лимфоците принимается число гранул формазана. Определение активности фермента в 50 лимфоцитах позволяет провести статистический анализ структуры популяции лимфоцитов по ферментативной активности, который дает возможность выявить характер разнородности клеток (коэффициент вариации V), преобладающую субпопуляцию (коэффициент асимметрии А), степень разнообразия клеток (коэффициент энтропии информации Н) и др.

Для выяснения влияния внешней среды на организм в различных физиологических состояниях животные были разделены на три группы. Первую группу составили мыши, подвергавшиеся умеренной мышечной нагрузке (плавание в течение I ч, 5 сеансов), второй группе мышей вводили внутрибрюшинно раствор адреналина (0,3 мл 0,01%-ного раствора, 5 введений), третью группу составили мыши, не подвергавшиеся никаким воздействиям и находившиеся в одинаковых с опытными условиях (контрольная группа). Эксперимент предусматривал изменение гелиогеомагнитной ситуации и длился 3 мес. Из параметров внешней среды учитывали относительное число солнечных пятен (W) и планетарный индекс геомагнитной возмущенности (Ар).

Полученные корреляционные связи параметров распределения лимфоцитов по активности ферментов у мышей контрольной группы с физическими показателями внешней среды представлены на рис. I7. Фермент ГФДГ является более информативным, чем СДГ и ГДГ, т.е. имеет большее число корреляционных связей. Однако для всех перечисленных выше ферментов справедливо падение среднего уровня их активности через I-4 дня после увеличения солнечной активности, напряженности ГМП. Под влиянием факторов внешней среды происходит перестройка структуры популяции лимфоцитов по активности ферментов, что находит свое отражение в корреляционных связях коэффициентов вариации и энтропии информации. Реакция на внешнюю среду метаболических систем лимфоцитов, как подвергавшихся мышечной нагрузке (рис. I8), так и получавших гормон, отличается от реакции мышей контрольной группы. У первой группы мышей число корреляционных связей достоверно уменьшается, а у второй группы — увеличивается. Ферменты миокарда также реагируют на изменение внешней среды. Примечательно, что СДГ миокарда у мышей второй группы совсем не имеет корреляционных связей. Возможно, это происходит из-за того, что уровень СДГ понизился на 35% относительно контрольного. При увеличении солнечной активности, напряженности ГМП происходит снижение активности ферментов лимфоцитов и миокарда. Для здорового организма это снижение ферментативной активности протекает по типу адаптивной реакции, метаболизм организма постоянно перестраивается в соответствии с изменениями, происходящими во внешней среде. Для больного организма эта реакция может оказаться гибельной, так как уровень его ферментов в большинстве слу-



Р и с. 17. Корреляционные связи активности ферментов лимфоцитов с параметрами внешней среды для мышей контрольной группы

Р и с. 18. Корреляционные связи активности ферментов лимфоцитов с параметрами внешней среды в эксперименте на мышах, подвергавшихся действию мышечной и адреналиновой нагрузки

чаев понижен и дальнейшее понижение ухудшит сложившуюся патологическую ситуацию. Этот вывод согласуется с цитохимическими исследованиями больных со стенокардией [9], а также объясняет увеличение числа больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями в периоды резких изменений на Солнце. Влияние внешней среды ослабляется, если животные испытывают умеренную физическую нагрузку, аналогично результатам Селье, показавшего, что животные, подвергавшиеся предварительному воздействию стрессора (мышечной нагрузке) становятся устойчивыми (резистентными) к воздействию стрессора на сердце [10]. Адреналиновая нагрузка приводит организм в состояние внутриорганной патологии, организм становится неспособным правильно реагировать на изменения во внешней среде, что может привести к летальному исходу.

Итак, параметры внешней среды коррелируют с цитохимическими и гистохимическими показателями ферментативной активности. Характер связей зависит от физиологического состояния организма. Умеренная физическая нагрузка и, возможно, положительный эмоциональный настрой должны в некоторой степени улучшать адаптацию организма к изменяющимся факторам внешней среды. Падение активности дегидрогеназ у живого организма после магнитной бури не обязательно приведет к развитию сердечно-сосудистой катастрофы, но, с одной стороны, сделает его более чувствительным к инфицированию, и возникшая в этот период инфекция и интоксикация будут протекать более тяжело [11], а с другой стороны, снижение активно-

сти дегидрогеназ облегчит разрушение лимфоцитов и осуществление трофической функции. В последнем случае может произойти ускорение процессов роста и дифференцировки.

Литература

I. Духсва З.Н. Изменения энзиматичеокой активности лимфоцитов и различных органов под воздействием гипоксического фактора: Дис. ... канд. биол. наук. М.: Ин-т педиатрии АМН СССР, 1976. 148 с.

2. Вялушкина М.Д. Динамика энзиматического статуса бластных клеток при остром лейкозе у детей под влиянием современной терапии: Дис. ... канд. мед. наук. М.: Ин-т педиатрии АМН СССР, 1973. 160 с.

3. Суслова Г.Ф. Динамика некоторых ферментных сиотем лимфоцитов и органов в условиях нормального развития и патологии: Дис. ... канд. биол. наук. М.: Ин-т педиатрии АМН СССР, 1975. 173 с.

4. Фролова М.А., Гудкова Р.Г., Большухина Л.А., Духова З.Н., Фальковокий Г.Э. О механизмах изменения дегидрогеназ лимфоцитов при трансплантации сердца. – Бюл. эксперим. биологии и медицины, 1976, т. 4, с. 423-425.

5. Нарциссов Р.П. Цитохимия ферментов лейкоцитов в педиатрии: Дис. ... д-ра мед. наук. М.: Ин-т педиатрии АМН СССР, 1970. 304 с.

6. Гневышев М.И., Новиксва К.Ф., Оль А.И., Токарева Н.В. Скоропостижная смерть от сердечно-сосудистых заболеваний и солнечная активность. – В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с. 179-187.

7. Рождественокая Е.Д., Новикова К.Ф. Влияние солнечной активности на фибринолитическую сиотему крсви. – В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с. 193-197.

8. Нарциссов Р.П. Применение п-нитротетразолия фиолетового для количественной цитохимии дегидрогеназ лимфоцитов человека. – Арх. анатомии, гистологии и эмбриологии, 1969, т. 5, с. 75-81.

9. Селье Г. На уровне целого организма. М.: Наука, 1972. 122 с.

10. Атаханов Ш.Э. Изучение активности СДГ, ГФДГ, ЛДГ циркулирующих лимфоцитов у больных стенокардией. – В кн.: Актуальные вопросы кардиологии; Тез. III Межресп. конф. молод. ученых. Каунас, 1975, с. 20-21.

11. Катссова Л.К., Катосова Р.К., Нарциссов Р.П. Координация ферментных систем лимфоцитов и резистентность мышей к действию стафилококкового токсина. – Бюл. эксперим. биологии и медицины, 1975, т.6, с.74-77.

4.4. Действие магнитного поля на ферментные системы организмов

Биологическая активность МП может быть связана, как известно, с возникновением ЭДС в живых объектах, с изменением ориентации несферических пара- и диамагнитных частиц и молекул, имеющих магнитный момент, а также с влиянием МП на перемещение свободных радикалов пара- и диамагнитных молекул /1-5/. При этом подчеркивается, что в основе биомагнитных эффектов лежит изменение физико-химических процессов в клетках и окружающей их среде. Высказано мнение /6/, что парамагнитные и диамагнитные вещества в живом организме под воздействием МП могут изменять обычную скорость биохимических процессов. В частности, установлено /7/, что сильные магнитные поля влияют на ротационное движение цитоплазмы клеток, вызывают поляризацию диполей и ориентируют их по силовым линиям, что в свою очередь приводит к изменению поступления в клетку воды и ионов электролитов.

В окислительно-восстановительных реакциях отмечен /8/ ускоряющий эффект МП на восстановление перманганата калия и хромовой кислоты. Задерживающее действие наблюдалось в отношении восстановления хлорида железа. При некоторых других реакциях двухвалентного железа и кобальта, как и при эстерификации и азотировании, эффекта не отмечалось.

Переменное МП частотой 50 Гц оказывает влияние на процесс окислительного фосфорилирования в тканях животных. При шестидневной обработке морских свинок магнитным полем количество эстерифицированного фосфора в печени возрастало по сравнению с контролем на 4,7%, а количество адсорбированного кислорода уменьшалось на 5%. Более длительное воздействие МП (9 дней) усиливало эстерификацию фосфора на 12% и снижало адсорбцию кислорода на 8,1%. Отношение Р/О в первом случае возрастало на 10,1%, а во втором - на 20,8%. Под влиянием восьмидневной обработки животных переменным МП увеличивалась проницаемость биологических мембран /9/.

Показано /10/, что МП 0,35-0,5 Тл обладает последействием и угнетает интенсивность окислительных процессов в тканях мышей. Предварительное " омагничивание" животных сопровождалось значительным снижением (на 6-12%) потребления кислорода. Отмечено /11/ прогрессивное снижение активности пероксидазы крови кроликов при ежедневном 20-60-минутном воздействии на голову животных неоднородного МП порядка $10-10^2$ мТл. Уровень фермента к концу 3-й недели опыта был ничтожно мал. После трех-семидневного перерыва в экспериментах активность пероксидазы вновь возрастала.

Иное действие на окислительные ферменты крови кролика оказывала энергия электромагнитных колебаний звукового и радиочастотного спектров /12/. После однократного воздействия ЭМП на животных при всех применяемых частотах активность каталазы и пероксидазы снижалась. При повторных воздействиях активность ферментов возрастала и находилась в определенной частотной зависимости. Установлено также, что степень сни-

жения активности пероксидазы и каталазы при одинаковой частоте находится в прямой зависимости от индукции МП. После прекращения воздействия ЭМП уровень нормальной активности ферментов восстанавливался через 3-4 ч. МП 50 мТл изменяло некоторые свойства азотистого обмена в головном мозгу белых крыс [13]. Обнаружено повышенное содержание аммиака, глутаминовой, аспарагиновой и гамма-аминомасляной кислот, активирование трансаминазы, гамма-аминомасляной и альфакетоглутаровой кислот, уменьшение глутамина и торможение активности щавелевоуксусной кислоты.

Гистохимические исследования [14] показали, что под воздействием МП (B = 0,45 Тл, градиент - 50 мТл/см, экспозиция - 24-72 ч) в митохондриях клеток печени мышей усиливается активность сукцинатдегидрогеназы, глутаматдегидрогеназы и малатдегидрогеназы. Активность ферментов, локализованных в гиалоплазме (лактатдегидрогеназы, глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы), существенно не изменяется. МП той же напряженности влияет на энергетические процессы и в изолированных митохондриях. Установлена зависимость [15] активности энзимов в МП от pH среды. При одних опытах при pH 3 МП 13 Тл после экспозиции в 2-3 ч повышалс активность трипсина (на 24%) и хемотрипсина (на 22%), в других - при воздействии того же МП на раствор трипсина при pH 8, активность энзима заметно снижалась (на 10%).

На основе спектрофотометрического способа изучения кислотофосфатазной активности серозальных макрофагов белых мышей, выдержанных в слабом МП (меньше 80 нТл), установлено [15] снижение содержания кислотофосфатаз в клетках. Среднее числовое значение для мышей, находившихся в ГМП, было 19,3, а для "магнитной" серии - 13,6. Из этого сделан вывод, что макрофагальная реакция в полях низкой интенсивности должна снижаться, так как кислотофосфатазная активность находится в прямой зависимости от фагоцитарной.

Существует мнение, что эффективность действия МП на биологические объекты определяется не параметрами поля , а структурной организацией ферментов или наличием в них магнитовоспримчивых элементов. Ввиду этого интересно было проследить кинетику разложения перекиси водорода комплексом этилендиаминтетраацетат (ЭДТА) с Fe^{+3} и каталазой, в активном центре которой содержалась та же парамагнитная частица железа [16]. Эффект "омагничивания" проявлялся в ускорении реакции разложения перекиси водорода с максимумом 20±5% для каталазы и 24±5% для [Fe^{+3}(ЭДТА)].

Несколько исследований посвящено влиянию МП на ферменты микроорганизмов. В результате обнаружено [17] уменьшение триплетных образований в реакционных центрах фотосинтетических бактерий *Rhodopseudomonas spheroides*, подвергнутых воздействию МП. При этом исследовались хроматофоры дикого типа бактерий, имеющих железо-убихинонный комплекс, и мутант P-26, в реакционных центрах которого содержалоя лишь убихинон. Примечательно, что эффект ингибирования выявлялся в поле 5-10 мТл, усиливался при повышении напряженности до 50 мТл и не зависел от наличия

функционального железа. Максимальная величина ингибиции триплетных соединений для препаратов с железо-убихиноновым комплексом составляла 25%, а для тех же препаратов без железа - 35%. Иные результаты получали при изучении дегидрогеназ золотистого стафилококка и дрожжей [18]. Эти микробы "омагничивались" 18 ч в МП порядка 50 мТл. У опытных штаммов стафилококка дегидрогеназная активность возрастала на 32,6-44,6%, а у дрожжей - на 19,5-30,9%.

Изучая разнообразные стороны жизнедеятельности 21 вида бактерий и 10 видов актиномицетов, подвергнутых действию постоянного, переменного и импульсного МП от 0,05 мТл до 4,5 Тл, мы показали [1], что процесс "омагничивания" изменяет многие видовые признаки микроорганизмов: скорость роста, культуральные, морфологические, антигенные свойства и даже вирулентность, их чувствительность к антибиотикам, фагу, температуре и некоторым другим факторам внешней среды.

Изменчивость биологических свойств микробов, как правило, возникает при длительном пассировании культур в МП. Кратковременное влияние МП сказывается в основном лишь на скорости размножения клеток. Большинство отмеченных нами биомагнитных эффектов у "омагниченных" микроорганизмов, естественно, имеют временный, преходящий характер и связаны с модификационной (ненаследственной) изменчивостью. Тем не менее МП могут оказывать мутагенное действие на микробы.

Наиболее ярким подтверждением такого вывода явилось получение в результате длительного действия импульсного поля (B = 22-45 Тл) беспигментного "магнитного" мутанта стафилококка УФ-3, сохранившего только морфологические особенности исходного варианта. Глубокие изменения биологических свойств были обнаружены у стафилококка 209Р, пассированного в ослабленном МП. В этих условиях выращивания на восемнадцатом пассаже значительная часть (9,1%) колоний микроба ослизнялась, а затем лизировалась.

Действие переменного МП (B = 18 мТл) резко проявлялось в отношении вульгарного протея и сенной палочки. В популяции протея после длительных пассажей в переменном поле, наряду с типичными для контроля Н-формами колоний, дающими сплошной расползающийся рост, на средах выделялись гладкие О-формы как результат потери клетками микроба Н-антигена. Следствием "омагничивания" в переменном поле сенной палочки явилось образование на средах трояких родов колоний, из которых влажные формы, напоминавшие пуговицы с вогнутой поверхностью, коническим центром и валиком по периферии, полностью утрачивали присущие контрольному штамму структурные особенности вида.

Выраженные изменения антигенной структуры были установлены также при изучении иммуногенных свойств различных разновидностей кишечных палочек, длительно пассированных в МП напряженностью всего лишь 0,05 мТл. В этих опытах "магнитные" варианты кишечных палочек характеризовались не только слабой иммуногенной активностью, но и низкой агглюти-

набельностью в антисыворотках, полученных в результате иммунизации кроликов контрольными штаммами бактерий.

Серьезным доказательством влияния МП на генетический аппарат микробов является их индуцирующее действие на лизогенные бактерии E.coli штамм К-12. В условиях магнитной возмущенности подавляется или элиминируется продукция колицинов и экстрахромосомная стрептомицинорезистентность у золотистых стафилококков.

По нашему мнению, в основе всех форм изменчивости у "омагниченных" микроорганизмов, независимо от их сущности, лежат резкие сдвиги в биохимических процессах. Так, исследование активности ферментов у многих видов и штаммов микробов, подвергнутых действию различных МП, выявило глубокое нарушение у них окислительно-восстановительных процессов. В зависимости от видовых особенностей испытанных тест-микробов и характера внешнего МП активность ферментов то повышалась, то угнеталась. Зачастую на фоне повышенной или даже высокой активности одного фермента наблюдалось выраженное угнетение другого (других) или наоборот. При всем многообразии эффектов действия МП на ферменты микробов можно было установить некоторые закономерности. Магнитные поля, обладая избирательным действием, как правило, угнетали активность каталазы и пероксидазы. Изменчивость дегидрогеназ в равной мере зависила как от характера действующего МП, так и от видовых свойств "омагниченных" микробов.

Внешние магнитные поля изменяли также синтез нуклеиновых кислот. В общем, это касалось обмена РНК, так как незначительная степень повышения или снижения количества ДНК у некоторых "магнитных" штаммов микробов после статистической обработки оказалась недостоверной.

Из изложенного следует, что изменение роста и деления клеток, культуральных и других биологических свойств бактерий и актиномицетов, утрата ими видовых признаков и появление новых разновидностей и вариантов является следствием действия МП на ферментные системы и, главным образом, на углеводный и белковый обмен микроорганизмов.

Литература

1. Павлович С.А. Магниточувствительность и магнитовосприимчивость микроорганизмов. - Минск: Беларусь, 1981, 172с.
2. Реакции биологических систем на магнитные поля. М.:Наука, 1978, 216 с.
3. Ахмеров У.Ш. О некоторых магнитобиологических явлениях.- В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.; Наука, 1975, т.2, с.33-39.
4. Аристархов В.М., Пирузян Л.А. О возможном молекулярном механизме биологического действия магнитного поля.- В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.1, с.179-182.
5. Mulley Z.N., Mulley J.L. Magnetic susceptibility: trends in instrumentation research and applications. - Annal. Chem., 1964, v.36, p. 404-419.

6. Valentinuzzi M., Rotational diffusion in a magnetic field and its possible magnetobiological implications. - In: Biological effects of magnetic fields. N.-Y., Plenum Press, 1964, p.63-73.
7. Савостин П.В. Магнито-физиологические эффекты у растений.- Тр.Моск. Дома ученых, 1937, вып.I, с III-II9.
8. Bhatnagar S.S., Mathus K.N., Kapur R.N. The effects of magnetic field on certain chemical reactions. - Phil. Mag., 1963, v.8, p.457-473.
9. Jitarui P., Hefco V. L'influence du champ magnetique sur les phosphorisation oxydatives. - Ann. Stiint. ale univer. Al. i cura ser. nouva, sect. II, 1964, v.10, N1, p.13-18.
IO. Тишанькин В.Ф. Влияние магнитного поля на свертывание крови.- В кн.: Биологическое и лечебное действие магнитного поля и строгопериодической вибрации. Пермь, I948, с. 87-92.
II. Белоконь А.Н., Травкин М.П., Бородачева З.Н. Влияние неоднородного магнитного поля на изменение активности некоторых окислительно-восстановительных ферментов крови.- В кн.: Тез. докл. по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. М.:I966,с.I2-I3.
I2. Чирков М.М. Влияние энергии электромагнитных колебаний звукового и радиочастотного спектра на окислительные ферменты крови.- В кн.: Матер. XУ науч. конф. физиологов, биохимиков, фармакологов Юга РСФСР. Махачкала, I965, с. 346-347.
I3. Коган А.Б., Щербакова Г.В. О биохимических изменениях в динамике некоторых сторон азотистого обмена в головном мозге белых крыс при действии постоянного магнитного поля.- В кн.: Тез. докл. по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. М.:I966, с. 39-40.
I4. Шишло М.А., Шимкевич Л.Л. Активность окислительных ферментов в печени мышей при действии постоянного магнитного поля на интактный организм.- Патол.физиол. и экспер.терапия, I966, т.IO,№3, с.65-66.
I5. Conley C.C., Mills W.J., Cook P.A. Enzyme activity in macrophages from animals exposed to a very low magnetic field. - III International Biomagnetic Symposium. Chicago, Illinois, 1966, p.13-15.
I6. Влияние магнитного поля на скорость разложения H_2O_2 каталазой и комплексом ЭДТА с Fe^{3+}/Л.М.Вайнер, А.В.Подоплелов, Т.В.Лешина и др.- Биофизика, I978, т.23, вып.2, с. 234-24I.
17. Hoff A.J., Rademaker H., Grodelle R., Duysens L.N.M. On the magnetic fields dependence of the triplet state in reaction centers of photosynthetic bacteria. - Biochem. Biophys. Acta, 1977, v.460, N3, p.547-554.
18. Nimatan E.M. Reactia de dehidrogenare la bacterii si levuri sub influenta cimpului magnetic. - Analele etiint. Univ. "Al. J. Cusa", Sect., 1974, v.20, N2, p.55-58.

4.5. Электрохимическая модель метаболизма

Все живое, как известно,- это сложные, в основном белково-водные системы, гомеостатически функционирующие и самоорганизующиеся за счет потребления энергии обмена веществ (метабслизма) /1-3/. Несмотря на большой интерес к проблеме, энергетика живого, механизмы ее регулировки и взаимодействия с различными внешними факторами, включая ГМП, до конца еще не выяснены /3-6/. В частности, привлекает внимание тот факт, что на фосфолипидных моделях и на биообъектах in vitro эффект воздействия ЭМП не воспроизводится /7/. Благодаря успехам биохимии в последние годы выявился круг вопросов, решение которых потребовало привлечения представлений современной электрохимии. К ним относится процесс возникновения и передачи нервного возбуждения /8,9/. Без электрохимии не удается также понять и энергетику метаболизма на клеточном и на тканевом уровнях организации живого /10-15/. В настоящем разделе с позиций электрохимии полупроводников рассматривается энергетика метаболизма живых организмов и роль ГМП в их формировании. В основу рассмотрения положена электрохимическая модель, сочетающая в себе требования биоэнергетики и биокибернетики.

Электрические свойства различных биообъектов: их электропотенциалы /16-20/, вентильные /20-22/, электретные /23/ и другие /24,18/ эффекты обнаруживают удивительно много общего. Так, примерно одинаково расположение электрически активных участков на теле животных, одинаково неспецифично изменение их свойств под влиянием различных внешних воздействий, одинакова ритмичность изменений физиологических функций и т.д. При умирании организма исчезают и его особые электрические свойства. Все это свидетельствует о неотъемлемости, фундаментальности, способности живого генерировать электрические и связанные с ними электромагнитные поля (см. т.I, гл.I, раздел 3). Взаимосвязь электромагнитных явлений с метаболическими реакциями в живых системах вытекает из работ многих исследователей. В работах /11-13/ установлено, что в клетках разность электрических потенциалов возникает на мембранах митохондрий вследствие пространственного разделения реакций окисления богатых энергией веществ и восстановления кислорода, сопровождающегося образованием аденазинтрифосфата /11,12/. Мембрана сопрягает эти реакции, транслируя протонную и электронную разность потенциалов с одной ее стороны на другую. Электрические потенциалы в тканях животных и растений, возникающие как интегральный результат баланса процессов переноса электронов и протонов в клетках ткани, рассмотрены в /14,15,25/. На основе законов неравновесной термодинамики и правила Понтрягина для многокомпонентных систем показано, что разбаланс тока в пользу восстановительных реакций должен сдвигать потенциал живой ткани в отрицательную сторону, а разбаланс тока в пользу окислительных реакций - в положительную сторону /15,25/. Качественно этот вывод согласуется с экспериментом. Однако для количественного описания процессов в живом

организме, например процесоов адаптации, требовалось, чтобы электрохимические реакции могли регулироваться с помощью другой, например химической (гормональной) или электрической (нервной) системы /15/.

С нашей точки зрения, в качестве регулирующей системы целесообразно исследовать электрическую регуляцию, поскольку она является более эффективной и быстродействующей по сравнению с гормональной, тем более, что гормональная система также управляется и регулируется электрическими импульсами, обеспечивая тем самым дополнительное увеличение надежности работы организма. Однако главным достоинством электрической регуляции является то, что она позволяет на единой энергетической (электрической) основе обеспечивать не только процессы обмена веществ, но и процессы возникновения и передачи нервного возбуждения, а также некоторые другие стороны жизнедеятельности организма.

Согласно предлагаемой электрохимической модели главные, во всяком случае, определяющие кинетику, звенья в цепи метаболических процессов протекают по электрохимическому механизму - с разделением в пространстве катодных и анодных актов — на любом уровне организации. При этом образуется замкнутая электрическая цепь, способная осуществлять автоматический контроль и регулировку. Организм в целом в таком случае можно уподобить самоуправляемой батарее электрохимических генераторов (ЭХГ), в которой роль анодов и катодов играют отдельные органы, связанные между собой и с потребителем энергии в единую электрическую цепь, при помощи которой осуществляется их взаиморегуляция. Система в целом функционирует, утилизируя энергию топлива - веществ-восстановителей, доставляемых и перерабатываемых органами пищеварения, в которых преобладает анодная функция. Необходимый для этого окислитель доставляется и перерабатывается органами с преобладающей катодной функцией - легкими и сердечно-сосудистой системой. К органам-катодам следует, по-видимому, также отнести органы, выводящие из организма окисленные продукты метаболизма, - печень, почки.

Непременным условием стабильности электродвижущей силы в любом ЭХГ является, как известно, наличие препятствующих саморазряду границ раздела между проводниками тока с разным типом проводимости: ионного проводника внутри каждой ячейки ЭХГ и электронных проводников, соединяющих разные ячейки в батарею и подводящих ток к потребителю. Ионными проводниками в живых организмах являются электролиты: кровь, лимфа и т.д. Относительно электронных проводников существовало ошибочное мнение, что в биообъектах их вообще нет, и поэтому невозможен и электрохимический метаболизм /26/. Здесь явное недоразумение. Металлических токоотводов, подобных тем, которые используются в технических ЭХГ, в живых системах нет. Но, как теперь хорошо известно, живое - это целый набор самых разнообразных органических полупроводниковых систем с различным типом (n и p) и разной величиной электронной проводимости (от проводимости

изолятора до близкой к металличеокой [1]. Многие особые свойства живого в овоей основе являются полупроводниковыми. К ним относятся, например, так называемые вентильные эффекты, наблюдающиеся в активных точках кожи животных, когда прохождение электрического тока в одном (пропускном) направлении сравнительно легко, но затруднено в обратном (запорном) направлении. Как известно, вентильные эффекты могут возникать на границе раздела между полупроводниками с разным типом проводимости при наложении электричеокого поля /27,28/. Вентильные эффекты должны обеопечивать одностороннее перемещение электричеокого тока в био-ЭХГ и последовательное перемещение зон повышенной активнооти от одного органа к другому.

Важным следствием полупроводниковой природы сред в био-ЭХГ является сильная зависимоть их электрических и электрохимических свойств от факторов, влияющих на энергетическую структуру полупроводников. Действительно, как показано в /29-35/, реакционная способность полупроводникового электрода определяется природой и концентрацией собственных и примесных дефектов: овободных электронов в зоне проводимооти, дырок в валентной зоне и локальных примесных подуровней в запрещенной зоне. Свет и другие электромагнитные излучения, давление, нагрев, введение электроактивных примесей, наложение электрических и магнитных полей и т.д., изменяя концентрацию дефектов, тем оамым могут неспецифически изменять реакционную опоообность полупроводниковых электродов. Так, например, введение ничтожных количеств акцепторов электронов, увеличивая концентрацию дырок в валентной зоне, резко ускоряет анодные реакции. В случае введения в полупроводниковый электрод примесей-доноров электронов увеличится концентрация электронов в зоне проводимости. Это приведет к ускорению катодных, но замедлению анодных реакций /30-32/. Обратим внимание на сильную завиоимость скоростей электродных реакций от потенциала: его изменение на 58 мВ вызывает изменение тока в десять раз. Все эти, а также ряд других явлений, в основе которых лежит влияние примесей на реакционную опособность полупроводниковых электродов, например электрокатализ, эффекты "памяти", "тренировки", "отравления", адаптации

---

[1] От металла полупроводник отличается наличием в его энергетической отруктуре эоны запрещенных соотояний для электронов, что обусловливает наличие носителей тока двух типов: p-тип - электроны в валентной зоне и n-тип - электроны в зоне проводимости, а также сильную неспецифическую зависимость от всех факторов, изменяющих энергетическую отруктуру полупроводника. Так, все факторы, изменяющие концентрацию свободных носителей тока, соответственным образом изменяют проводимость и реакционную способность. Это свет, давление, тепло, примеси электроактивных веществ, электричеокий ток, электрические и магнитные поля и т.д. Помимо электронной, некоторым полупроводникам свойственна ионная проводимость, которая в некоторых случаях бывает преобладающей /27/.

и т.д., должны иметь и, по-видимому, имеют в живой природе широкое распространение и многообразие видов.

Рассмотрим полупроводниковую электрохимическую модель метаболизма более подробно для клеточного уровня, в частности на примере работы митохондрий. Предполагаем, что на внутренней стороне фосфолипидной мембраны, окружающей митохондрию, на участках с особыми каталитическими свойствами происходит анодное окисление продуктов пищеварения. Вследствие этого на них устанавливается более отрицательный электрохимический потенциал, свойственный этим реакциям. На других местах мембраны, с другими каталитическими группами, происходит катодное восстановление окислителей, например кислорода и на них устанавливается более положительный электрохимический потенциал, свойственный окислителю. Мембрана выполняет таким образом роль электрохимического генератора, превращающего химическую энергию, содержащуюся в метаболитах, в электроэнергию. Электрический ток (поток электронов и ионов) между анодом и катодом в мембране определяется разностью потенциалов и электропроводностью мембраны. Протекая через мембрану, он снижает разность потенциалов между анодом и катодом тем сильнее, чем меньше реакционная способность электродов (их электрохимическая буферность). Последняя, как упоминалось выше, у полупроводникового электрода сильно и по разному для анода и катода зависит от примесных дефектов в их запрещенной зоне. Обратим внимание на то, что анодное окисление продуктов пищеварения на аноде всегда сопровождается образованием в качестве продукта реакции ионов водорода, т.е. подкислением электролита. Вследствие ионного равновесия это ведет к обогащению поверхности электрода протонами, на ней, как говорят, образуется "слой пространственного заряда". Катодное восстановление кислорода сопровождается, наоборот, подщелачиванием электролита и обеднением поверхности электрода протонами, поскольку в этом случае они в реакции расходуются.

В биомембране протоны образуют донорные подуровни, которые активируют катодную, но пассивируют анодную реакции. Поэтому они в принципе способны осуществлять отрицательную обратную связь между этими реакциями. Действительно, образуясь в анодной реакции, протоны снижают анодный потенциал, причем вначале равновесно - на 58мВ на единицу pH, а затем, по мере развития пассивации, все более и более резко. Когда слой пространственного заряда, расширяясь, наконец достигнет участков, где протекает катодная реакция, катализируемая протонами, установится более положительный потенциал, свойственный этой реакции. При достаточном количестве окислителя этот потенциал будет держаться до тех пор, пока не станет заметным "истощение" слоя пространственного заряда. Тогда потенциал начнет смещаться в сторону более отрицательных значений. Когда истощенный слой достигнет анодных участков, снова возникнет их активация и все повторится сначала.

В результате протонной саморегуляции в клетке возникает замкнутый

электрохимический метаболический контур, работающий ритмично во времени и в пространстве и с определенной последовательностью изменения его параметров. Кратко мы назвали его "био-ЭХГ". Значения электрохимических потенциалов и pH в био-ЭХГ автоматически удерживаются в определенных границах, обеспечивая тем самым внутри контура электрический и химический гомеостаз. Если учесть еще и температурный гомеостаз, то получим в результате объемную область жизнеспособности, внутри которой клетка функционирует нормально, а вне ее - погибает.

Модель био-ЭХГ позволяет понять неспецифичность метаболического ответа клетки на разнообразные внешние воздействия, связанную с самокомпенсацией метаболических сдвигов, удерживающей клетку в пределах области жизнеспособности. Она указывает также на возможность воздействия и управления метаболизмом клетки извне, через факторы, влияющие на концентрацию протонов в мембране. Такую роль могут выполнять, например, электрические импульсы, поступающие от соседних клеток, от нервной системы или от электроактивных веществ, адсорбирующихся на клеточной мембране. Все это позволяет понять механизм согласованной работы различных участков тела живого организма, действующего как энергетически единое целое. Электричество при этом служит связующим звеном точно так же, как и в технической энергетике, где его используют для объединения и перераспределения различных видов энергии.

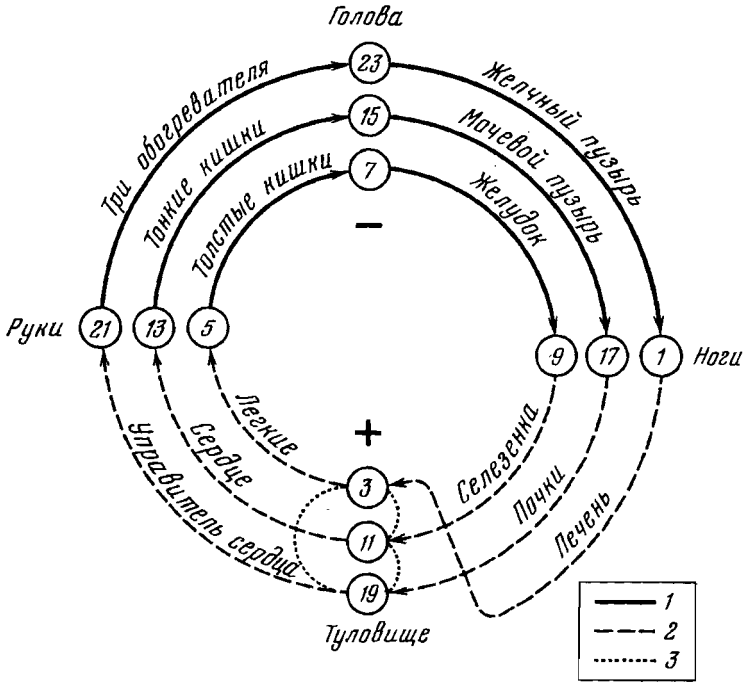
Следует подчеркнуть, что в основе модели лежат явления, которые мы назвали "электрохимические полевые эффекты" протонов в клеточной мембране. Они аналогичны полевым эффектам, широко применяемым в электронике, с тем отличием, что относятся не к электронным, а к электрохимическим явлениям, наблюдающимся на стыке электроники с электрохимией. Эти явления представляют не менее широкие и разнообразные возможности, чем явления в электронике, однако никем пока не учитывались. Можно показать, что в зависимости от соотношения интенсивностей электронных, ионных и примесных переходов в мембране и на ее границе с электролитом можно получить как силовые электрохимические метаболические эффекты от неэнергоемких управляющих сигналов, так и, наоборот, большие электрические сигналы от слабых электрохимических реакций. Эти эффекты стирают грань между биокибернетикой и биоэнергетикой, превращая их отличия в чисто количественные и непринципиальные. Одновременно исчезают принципиальные различия между обыкновенными и нервными клетками, также сводясь к количественным вариантам. Последнее утверждение согласуется с представлением о единстве устройства всего живого и на всех уровнях его организации. Оно кажется естественным, если учесть, что нервные клетки в фило- и онтогенезе развиваются из обычных клеток в результате усовершенствования их способности передавать управляющий (электрический) импульс.

Длительная работа любого ЭХГ требует подачи реагентов и отвода продуктов реакции от электродов. В технических ЭХГ этого достигают прокачкой растворов, что требует специального оборудования и дополнительных

энергетических затрат. Применение ритмичности во времени и в пространстве при работе био-ЭХГ, использующей самопроизвольную диффузию веществ, увеличивает его эффективность. Однако такая двойная ритмичность сама нуждается в устройстве, синхронизирующем ее с ритмично изменяющимися условиями земной жизни (с суточными, месячными и другими ритмами). Эту роль можно приписать ГМП. Синхронизация с ним метаболических ритмов может быть понята, если учесть пульсацию электрического тока в электрических контурах клетки, генерирующую свое ЭМП. Значимость ГМП для жизни привела к подстройке ЭМП клеток к ГМП и к закреплению этой синхронизации в генетическом коде. Вместе с фактом невозможности полноценного функционирования живого в отсутствие ГМП это свидетельствует, на наш взгляд, в пользу земного происхождения и развития жизни.

Поскольку любой организм развивается всегда из одной единственной клетки, в которой закодированы все его основные свойства, можно полагать, что принципы работы био-ЭХГ, установленные для клеточного уровня организации живого, должны обязательно отразиться и получить развитие на организменном уровне. Это кажется тем вероятнее, что, как показали работы по методу тканевых культур, в каждой клетке имеются функциональные зачатки всех органов организма, хотя большинство из них законсервировано за ненадобностью. Развитие клеточного био-ЭХГ до организменного уровня должно привести к тому, что в организме роль отдельных реакционных групп, действующих в клетке, выполняют уже целые органы. Т.е. должны быть органы, несущие преимущественно функции анода и органы, несущие преимущественно функции катода. Активирование работы первых должно сопровождаться подкислением среды, тогда как активирование работы вторых должно сопровождаться подщелачиванием. Уменьшение pH должно стимулировать работу органа-катода, но пассивировать работу органа-анода, обеспечивая отрицательную обратную связь между ними, точно так же, как это имеет место в клетке. Все органы должны быть связаны в единую электрическую цепь и функционировать ритмично во времени и в пространстве: зона реактивности должна последовательно перемещаться с одного органа на другой в строгом порядке. Однонаправленное перемещение реакционной зоны по цепи органов должно сопровождаться изменением их потенциалов и соответствующими изменениями pH. Оно должно обеспечивать сохранение, в определенных пределах, электрического и химического гомеостаза как в отдельных органах, так и во всем организме в целом. Отклонения электрических потенциалов и pH в органах от их нормальных значений, овидетельствующие о приближении к границам жизнеспособности организма, могут служить признаком заболевания этого органа.

Эти выводы хорошо согласуются с результатами исследования электрических свойств и pH органов человека и с закономерностями, найденными в древневосточной медицине, используемыми современной рефлексотерапией. Согласно им, по меридианам (каналам) инь и ян циркулирует "энергия", которая поступает в организм с пищей и воздухом. В определенном ритме она



Р и с. I9. Схема расположения на теле человека электрических потенциалов и меридианов типа ян (I) и инь (2); 3 - второстепенные связи между меридианами. В кружках указано время суток перехода энергии из одного меридиана в другой

проходит по ним и по связанным с ними внутренним органам и активным точкам на коже, которые образуют единую замкнутую цепь /36-41/.

На рис. 19 дана схема меридианов, спроецированная на четыре основные части тела. Дополнительные меридианы, указанные пунктиром на рис. I9, не связаны с какими-либо определенными органами тела и непригодны для излечения болезней - они служат как бы "аварийным сбросом" и используются только для снятия острой патологии.

Над каждым органом-меридианом указан связанный с ним внутренний орган, состояние которого он отображает. Согласно теории рефлексотерапии патология внутренних органов связана с задержкой перехода энергии из одного меридиана в другой, что может быть обнаружено по изменению энергетического состояния меридиана и связанных с ним активных точек кожи. Изменяется их температура, плотность, возникает болезненность и, как показали многочисленные современные исследования, резко изменяются их электрические свойства: электрохимические потенциалы, электропроводность, вентильный эффект, ассиметричность и т.д. /I6-25, 36-47/.

Гистохимические исследования показали, что активные точки кожи насы-

щены нервными рецепторами в значительно большей степени, чем другие участки кожи /43–45/. Исследование сопротивления постоянному и переменному электрическому току показывает, что по ходу меридианов (в направлении, указанном на рисунке стрелками) оно заметно снижено относительно точек вне меридианов и в направлении, обратном указанному стрелками /20, 21, 36,37, 41,42/. Некоторые авторы отмечают соответствие хода меридианов симпатическим и парасимпатическим путям нервной системы /37,39,40/. Тем не менее, вряд ли целесообразно отождествлять меридианы с таким четко морфологически оформленным субстратом, как нерв, поскольку геометрические размеры меридианов и активных точек непостоянны: они увеличиваются при увеличении степени возбуждения меридиана /16,20/. Поэтому меридианы следует рассматривать как пути преимущественного протекания электрического тока в организме, возникающего в результате метаболических электрохимических реакций.

Измерения электрических потенциалов в активных точках и вдоль меридианов подтверждают этот вывод. Действительно, оказалось, что потенциалы, измеренные вдоль одного и того же меридиана, отличаются друг от друга незначительно, но резко отличны от потенциалов на других меридианах и на участках тела вне меридиана /16,20,36/. Следует заметить, что данные по электропотенциалам кожи человека, полученные различными исследователями, характеризуются значительным разбросом, что может быть связано как с методическими ошибками, так и с нестабильностью параметров у исследуемых биообъектов. Указанные эффекты снижают точность измерений. Наиболее надежные данные удается получить при помощи прибора, специально разработанного для этих целей – биопотенциалометра БПМ –01 и 02. Прибор имеет высокое входное сопротивление (10^{10}Ом) и безнаводочные, неполяризующиеся стерилизуемые электролитические ключи, через которые осуществляется его контакт с измеряемым биологическим объектом /48/. Было показано, что у здоровых людей в спокойном состоянии электрохимические потенциалы кожи находятся в пределах ± 50 мВ. Воспалительные процессы во внутренних органах сдвигают эти потенциалы на соответствующих воспаленному органу участках кожи в сторону более положительных значений до + 60÷100мВ /49–52/. На рис. 19 электрические потенциалы кожи спроецированы на обобщенную схему человека, на которой изображены также меридианы древневосточной медицины. Из рис. можно видеть, что все меридианы ян замыкаются между собой через голову, а все меридианы инь – через туловище. Первые меридианы связаны с органами, поставляющими и перерабатывающими восстановитель (пищу), а вторые – с органами, доставляющими и перерабатывающими окислитель (кислород) или выводящими окисленные продукты метаболизма из организма. Интересно, что все переходы из меридианов ян в меридианы инь расположены в пальцах ног, а все переходы из меридианов инь в меридианы ян – в пальцах рук, т.е. в наиболее подвижных участках тела. Целесообразность такого размещения переходов между разноименными меридианами становится понятной, если при-

нять во внимание, что именно в этих местах переход энергии затруднен более всего, а движение (самомассаж) его облегчает. Интересно также отметить, что все основные лечебные точки, применяемые в восточной рефлексотерапии, расположены именно в этих же самых областях/37-40/. Физиологически оправданной представляется также последовательность размещения некоторых пар разноименных меридианов: желчного пузыря и печени, мочевого пузыря и почек, желудка и поджелудочной железы - селезенки. Примечательно, что разного типа меридианы, попарно чередуясь, образуют единую электрохимическую замкнутую цепь, представляющую собой как бы батарею из трех ЭХГ, соединенных между собой последовательно в единый контур.

Таким образом, экспериментальные данные по измерению электрических потенциалов на теле человека подтверждают существование меридианов с преобладанием в них либо анодной, либо катодной функции и замкнутой энергетической цепи с ритмичным однонаправленным перемещением в ней зоны повышенной реактивности.

С организменной моделью био-ЭХГ согласуется ряд известных в физиологии фактов, таких, например, как факт подщелачивания крови и клеточных сред при интенсифицировании легочного дыхания, подкисление их при интенсифицировании пищеварения, взаимная компенсация метаболических и дыхательных сдвигов в кислотно-щелочном равновесии и др. Согласуется с нею и неспецифичность ответа организма на разнообразные внешние воздействия, которые вызывают либо возбуждение, либо торможение. Электрофизиотерапия (электропунктура, электрофорез, ионотерапия) также может оказывать либо возбуждающее действие (если к телу прикладывают электрод, соединенный с отрицательным полюсом источника тока), либо тормозное (если электрод соединен с положительным полюсом)/42/.

Из приведенного материала следует, что основные закономерности метаболизма на клеточном и организменном уровнях организации живой материи могут быть описаны одной и той же моделью био-ЭХГ. На обоих уровнях метаболизм и его управление подчиняются электрохимическим закономерностям, одинаков механизм саморегуляции метаболических реакций, однонаправленные ритмы во времени и в пространстве, сопряжение электрического гомеостаза с химическим, неспецифичность ответа на внешние раздражители. Однако ряд фрагментов в организменной и клеточной моделях не нашел пока соответствия. Так, например,в клеточной модели установлен лишь один, а в организменной три элемента био-ЭХГ. В организменной модели не найден орган-аналог системе АТФ/АДФ. Возможно, что дальнейшие исследования помогут установить эти недостающие аналоги. Это позволило бы ввести в принцип соответствие между разными уровнями организации живой материи. В этом случае можно было бы без проведения прямых экспериментов по закономерностям, найденным для организменного уровня, предсказывать закономерности для клеточного, а возможно, даже и для субклеточного уровня.

В заключение следует отметить, что предлагаемая электрохимическая модель метаболизма позволяет описать и объяснить основные закономерности жизнедеятельности живого на различных уровнях его организации. Главная сущность и новизна модели заключается в механизме отрицательной обратной связи, обусловливаемой протонным электрохимическим эффектом в биомембранах. С ним связаны биоритмы и генерирование ЭМП.

Литература

I. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологичеоких макромолекул. М.: Мир, I973. 2I4 о.

2. Лидоренко Н.С. Исследование биоэлектрической активности организма и его энергообмена со средой. - В кн.: Проблемы измерений в медицине и в биологии: Тез. IX Междунар. конф. по измерительной технике и приборостроению. Суздаль: НТОШ, I98I. с. 6-8.

3. Рэкер Э. Биоэнергетические механизмы: новые взгляды. М.: Мир, I979, гл. 8, о. 2I6.

4. Панин Л.Е. Энергетические аспекты адаптации. Л.: Медицина, I978.3I5с.

5. Эйген М., Винклер Р. Игра жизни. М.: Наука, I979. 96 с.

6. Сент-Дьерди А. Биоэнергетика. М.: Физматгиз, I960. I55 с.

7. Тезисы докладов симпозиума "Биологическое действие электромагнитных полей". М.: Изд-во АН СССР, I982. I67 с.

8. Мембраны: ионные каналы. /Под ред. Чизмаджева Ю.А. М.: Мир, I98I. 320 с.

9. Маркин В.С., Пастушенко В.Ф., Чизмаджев Ю.А. Теория возбудимых сред. М.: Наука, I98I. 276с.

10. Mitchell P. Aspect of chemiosmotic hipotesys.-Proc. of Biochem. Soc., 1970, vol.116, №4, 5F;

II. Скулачев В.П., Козлов И.А. Протонные аденазинтрифосфатазы: молекулярно-биологические генераторы тока. М.: Наука, I977. 93 с.

I2. Скулачев В.П. Рассказы о биоэнергетике. М. : Молодая гвардия, I982. I9I о.

I3. Овчинников Ю.А., Иванов В.Т., Шкроб А.М. Мембранно-активные комплексы. М.: Наука, I974. с. 342.

I4. Котеску И. К вопросу о биохимической теории природы биоэлектрических потенциалов: Конф. Румын. физиологов (резюме). Бухарест: А.Р.Н.Р. I960. с. 69.

I5. Дечев Г.А. Исследование сети обменных процессов как целостной системы о помощью биоэлектрических и редоко потенциалов: Автореф. дис... д-ра биол. наук. М.: Ин-т биофизики АН СССР, I968. 35 с.

I6. Горев В.П. Электродермография в эксперименте и клинике: Докл. по дис. д-ра мед. наук. М.: Ин-т норм. и патол. физиологии, I965. 35 с.

I7. Коловский Р.А. Биоэлектрические потенциалы древесных растений. Новосибирск: Наука, I980. 229с.

I8. Торнуев Ю.В. К вопросу об электростатическом поле человека. - Физиология человека, I980, т. 6, № I, с. I48-I52.

19. Протасов В.Р., Бондарчук А.И., Ольшанский В.М. Введение в электроэкологию. М.: Наука, 1982. 336 с.
20. Шевелев О.А. Особенности электродермальных зон кожи и организация их афферентных связей: Дис... канд. мед. наук. М.: Ун-т Дружбы народов им. П. Лумумбы, 1980. 286 с.
21. Гаврилов А.В. К исследованию ВАХ в области точек акупунктуры.- В кн.: Технические вопросы рефлексотерапии и вопросы диагностики. Калинин: Гос. ун-т , 1981. с. 38-42.
22. Коломоец Б.Т., Шпунт В.Х., Марков Ю.В. Динамика ВАХ тела человека. - Письма в ЖЭТФ, 1979, т.5, вып. 19, с. 216-221.
23. Кулин Е.Т. Биоэлектретный эффект. Минск: Наука и техника,1980.215с.
24. Инюшин В.М. Элементы теории биологического поля. Алма-Ата: Гос. ун-т , 1978. 97 с.
25. Дечев Г.А., Матвеев М. А. Окислительно-восстановительный дебит в биологических объектах как результат управляемых необратимых процессов в открытых системах. - Биофизика, 1969, т. 14, № 6,с.963-967.
26. Бурлакова Е.Д., Вепринцев Б.И., Кольс О.Р., Кригер Ю.А. Исследова - ние биологических явлений в тканях и клетках. М.: Высшая школа, 1961. с. 162-237.
27. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.:Наука, 1977. с. 274-277.
28. Мямлин В.А., Плесков Ю.В. Электрохимия полупроводников. М.: Наука, 1965. 337 с.
29. Оше Е.К., Розенфельд И.А. Внутренний фотоэффект в электрохимических и коррозионных системах. М.: ВИНИТИ, 1978, т. 7, с. 111-158.
30. Оше А.И., Оше Е.К. Разупорядоченность поверхностных окислов на никеле и его пассивация. - Электрохимия, 1971, т.7, № 10, с.1419-1422.
31. Оше А.И. Разупорядочение и обратимость хлорсеребряных электродов.— В кн.: Тез. докл. III обл. науч.-техн. конф. по электрохимии, коррозии и защите металлов в неводных и смешанных растворителях. Тамбов, 1982. с. 65.
32. Лидоренко Н.С., Оше А.И. О стандартных потенциалах электродов типа Ag/A_gX и сосственной разупорядоченности солей.- ДАН СССР, 1980, т.250, № 3, с. 658-661.
33. Оше А.И., Уруов К.Х. Абсолютные потенциалы и нулевые точки. - В кн.: Тез. докл. VI Всес. конф. по электрохимии. М., 1982, т. 2, с. 74.
34. Оше Е.К., Розенфельд И.Л., Батракова Е.В. Отклонение от стехиометрии поверхностных окислов на титане в условиях активного растворения и пассивации. - Защита металлов, 1977, т. 13, №3, с. 303-307.
35. Оше А.И. Исследование анодного окисления пассивных металлов с помощью потенциостатической хронсамперометрии.- В кн.: Новые методы исследования коррозии металлов. М.: Наука, 1973. с.80-88.
36. Zhu Zong-xiang. Research advances in the electrical specifity

Meridiens and Acupuncture points. - Am. J. Acupunct., 1981, vol.9, № 3, p.203-216.
37. Вогралик В.Г., Вогралик М.В. Иглорефлексотерапия. Горький:Волго-Вятское книжн. изд-во, 1978. 295 с.
38. Лувсан Г. Очерки методов восточной рефлексотерапии. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1980. 278 с.
39. Тыкочинская Э.Д. Основы иглорефлексотерапии. М.: Медицина, 1979. 343 с.
40. Табеева Д.М. Руководство по иглорефлексотерапии. М.: Медицина, 1982. 560 с.
41. Уоррен Ф. Медицинская акупунктура. Киев: Вища школа, 1981. 223 с.
42. Портнов Ф.Г. Электропунктура и рефлексотерапия. Рига: Зинатне, 1980. 220 с.
43. Машанский В.Ф., Ли С.Е. и др. О возможных структурных свойствах безнервной передачи информации в эпителиях.-ДАН СССР, 1977, т. 235, № 6, с. 1453-1455.
44. Крохина Е.М., Чувильская Л.М., Новикова Е.Б. Некоторые проблемы вегетативной иннервации зон акупунктуры человека. - Арх. анатомии, гистологии, эмбриологии, 1980, т. 78, № 3, с. 59-71.
45. Загрядский В.А., Парин В.В. К вопросу о специфике структуры и основных биофизических свойствах точек акупунктуры. В кн.: Технические вопросы рефлексотерапии и систем диагностики. Калинин: КГУ, 1981. с. 11-24.
46. Дуринян Р.А. Методологический и физиологичеокий анализ проблем точек, меридианов и энергии в рефлексотерапии. В кн.: Теория и практика рефлексотерапии. Саратов: Гос. ун-т , 1981. с. 3-11.
47. Подшибякин А.К. Топография потенциалов кожи. - БЭБМ, 1969, т. 28, вып. 5, № 1, с. 343-346.
48. Урусов К.Х., Мишина М.И., Лотменцева Т.Н., Оше А.И. Биопотенциалометр БПМ - 01 и -02. В кн.: Тез. докл. VI Всес. конф. по электрохимии. М., 1982, т.III, с.324.
49. Никифорова В.Г. Влияние направления изменений электрических параметров биологически активных точек кожи на функциональное состояние организма человека: Автореф. дис... канд. мед. наук. М.:Инст-т мед-биол. проблем, 1978. 32с.
50. Лотменцева Т.Н. Исследование электрохимических потенциалов в раневой области.- Тез. докл. Научн.-техн. конф. "Электрофизические проблемы создания диагностической и медицинской аппаратуры". М.; 1982. с. 64.
51. Карлов В.А. Динамика электрических потенциалов. - В кн.:Раны и раневая инфекция. М.: Медицина, 1981. с.315 и 287-289.
52. Куцевляк Б.Ф. Значение величины суммарного биоэлектрического потенциала в диагностике и лечении слизистой оболочки полости рта. Дис... канд. мед. наук. М.: ЦНИИС, 1978. 140с.

5. ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ БИОРИТМОВ

5.I. Влияние электромагнитных полей на биологические ритмы

Биологические ритмы - периодически повторяющиеся изменения интенсивности и характера биологических процессов и явлений. В той или иной форме биологические ритмы присутствуют, по-видимому, у всех живых организмов и на всех уровнях биологической организации: от внутриклеточных до популяционных. Периоды разнообразных по своей природе колебаний варьируют в широком диапазоне - от сотых долей секунды для некоторых электрофизиологических процесоов до многих лет для изменений численности популяций. Природные ЭМП - также ритмическое явление, не менее разнообразное по частотному спектру, причем многие частоты биологичеоких ритмов и ЭМП совпадают.

Если ЭМП влияют на различные параметры биологических систем, то уместно предположить, что все или по крайней мере некоторые биологические ритмы вызваны ритмическими изменениями ЭМП. Однако многочисленные исследования не оотавляют сомнений в том, что почти все биологические ритмы - автоколебательные процессы. Можно оомневаться лишь в эндогенной природе таких мало изученных ритмов, как недельные, 27-дневные. Как правило, при изоляции объекта от внешних условий ритм сохраняется и может быть поставлен в любое фазовое соотношение с местным временем или даже изменить свой период /I/. Суточные ритмы у животных и растений не перестраиваются соответственно новому местному времени при дальней перевозке объектов в незкранированных камерах в широтном направлении /2/и сохраняются при их наблюдении на Южном полюсе /3/.

Таким образом, при современном уровне знаний мы не можем назвать ни одного биологического ритма, который был бы непосредственно вызван ритмическими измерениями электромагнитных полей. Тем не менее, известен ряд фактов, когда биологические ритмы (их частота или амплитуда) меняются под воздействием ЭМП. Теоретически воздействие ЭМП на ритм может быть трех видов:

I) ЭМП влияют на организм в целом, но не на сам генератор биологического ритма. Воздействие ЭМП может быть и информационным /4,5/, при этом изменяются также и параметры биологического ритма, его частота и (или) амплитуда, аналогично тому, как зависит частота пульсаций сердца от уровня постоянной температуры тела или от "сигнала тревоги". Частота биологического ритма не должна строго следовать за частотой ЭМП в определенном диапазоне. В некоторых случаях возможны даже синхронные изменения частот биологического ритма и ЭМП (как в примере с воздействием на частоту пульсаций сердца стабильного уровня температуры).

2) ЭМП влияют только на внешние проявления ритма, на так называемые индикаторные процессы /6/, но не на сам генератор биологического ритма. При этом усиление ЭМП или экранирование от него должны приводить

к изменению амплитуды наблюдаемого биологического ритма, вплоть до его исчезновения, но не отражаться на частоте ритма.

3) ЭМП влияют на сам генератор и являются датчиком времени. В данном случае связь между биологическими ритмами и ЭМП определяется закономерностями сложения нелинейных колебаний /7/. Датчик времени характеризуется двумя основными свойствами: 1) сдвиг фазы датчика времени приводит к соответствующему сдвигу фазы биологического ритма; 2) после настройки между датчиком времени и биологическим ритмом сохраняется строго определенное фазовое соотношение /8/. Соответственно при частотах датчика времени, близких к частоте биологического ритма и в целое число раз больше или меньше ее, должен иметь место захват частоты. При этом в определенных ограниченных диапазонах частота биологического ритма должна следовать за частотой датчика времени. Вне этих диапазонов биологический ритм может потерять свой строго периодический характер и через определенное число периодов должны появляться колебания с очень высокой амплитудой - биения. Подчеркнем, что если действующий фактор является датчиком времени, то достаточно исчезающе слабого его воздействия на организм, чтобы получить отчетливый биологический эффект /9/.

Попытаемся отнести к одному из указанных трех типов воздействия некоторые из наблюдавшихся фактов. Наиболее изучено влияние ЭМП на ритмы электрической активности мозга, сокращения сердца и на суточную ритмику. Под воздействием ИНЧ и ВЧ ЭМП, модулированных инфранизкой частотой, ритмы электрической активности мозга в ряде случаев изменяются /10-12/.

Такая реакция наблюдается только у некоторых высокочувствительных людей (сенситивов) /10,13/. Реакция может быть вызвана как в конденсаторе /14,15/, так и в соленоиде /13,16/. В некоторых случаях сообщается о навязывании частоты внешнего раздражения при формировании некоторых ритмов головного мозга. Иногда это только приближение к частоте поля /15,16/, однако электроэнцефалограммы сенситивов /13/ показывают четкий захват частоты ритмов ЭЭГ переменным МП в пределах частот 7,8-13 Гц. Кроме того, наблюдалась /17/ синхронизация ритмов электрической активности мозга с частотой, "близкой или кратной частоте модуляции" высокочастотного поля (несущая частота - 40 мГц, модуляция - 2 или 7 Гц). Выдвинута гипотеза о биофизическом механизме восприимчивости мозговой ткани к ЭМП /18/. Таким образом, помимо влияния на общее состояние организма, ЭМП способны захватывать ритмы электрической активности мозга и, следовательно, быть датчиком времени для этих процессов. Правда, четкий захват частоты получен при воздействии полем, напряженность которого на несколько порядков выше естественного.

Меньше оснований считать ЭМП датчиком времени для ритма сокращений сердца. Неоднократно отмечавшиеся изменения сердечной деятельности в ЭМП, видимо, не связаны по частоте с частотой внешнего раздражения /14, 19-21/. Однако при воздействии переменным МП с частотой около 0,5 Гц

на умирающих крыс, отравленных сильным наркотиком, удалось наблюдать навязывание этого ритма сердечной деятельности /22/. В этом случае частота сокращений сердца только приближалась к частоте внешнего воздействия. Показана также синхронизация ритма сердечной деятельности высокочастотным полем, модулированным низкой частотой /17/.

Остановимся на исследованиях воздействия ЭМП на суточные ритмы.

В работах /6,23/ придается большое значение ЭМП как возможному датчику времени для суточного ритма. Экранирование от полей оказывает определенное воздействие на суточные ритмы, при этом меняется частота циркадных ритмов человека и степень их согласованности друг с другом /24/. Экранирование от МП приводит у некоторых объектов (воробьи, мыши) к снижению четкости ритма при сохранении его общей картины /25,26/. По нашим данным, экранирование, наоборот, достоверно повышает четкость ритма выхода дрозофил из куколок в постоянной темноте. Однако экранирование заметно влияет на общее состояние организма /9/, поэтому нельзя утверждать, что ЭМП являются датчиком времени. Описано исчезновение циркадного ритма движения листьев фасоли /27/ при экранировании растений металлической сеткой. И в этом случае, по-видимому, имеет место общее воздействие на организм /28/ или только на наблюдаемую ритмическую функцию.

При непосредственном воздействии ЭМП частотой 10 Гц наблюдались изменения периода циркадного ритма у человека и зеленого вьюнка /24,29/. Вряд ли можно говорить о затягивающем действии на ритм ЭМП 10 Гц столь далекой от суточной частоты. Единственный, известный нам пример /24/ затягивания циркадного ритма ЭМП - захват ритма человека на протяжении недели 25,8-часовым ритмом ЭМП (половина периода - воздействие поля частотой 10 Гц, половина - его отсутствие). Высказано предположение о затягивающем действии ЭМП на популяционные ритмы /30/. Если ЭМП влияет на численность популяций, такой захват частоты или биения обязательно должны иметь место. Однако это предположение трудно проверить экспериментально. Интересно сообщение о биениях, возникающих в ритмике концентрации свободных радикалов и парамагнитных комплексов металлов переменной валентности, где период биологического ритма 23,5 ч взаимодействует с 24-часовой ритмикой условий /31/.

Таким образом, нет достоверных сведений о биологических ритмах, непосредственно вызванных ЭМП. Однако ЭМП могут влиять на частоту и амплитуду ритма. По-видимому, в большинстве случаев ЭМП воздействует не на сам генератор ритма, а на организм в целом или на внешние проявления ритма. В некоторых случаях в эксперименте ЭМП могут выступать в роли датчика времени и способны захватывать частоту биологичеокого ритма. Особенно наглядно это видно на примере ритмов электрической активности мозга. Вопрос о роли естественных ЭМП как датчиков времени остается открытым.

Литература

I. **Mletzko H.G., Mletzko I. Biorhythmik. A.Ziemsen Verlag, 1977, 160 s.**

2. **Hamner K.C., Finn J.C., Sirohi G.S., Hoshizaki T., Carpenter B.H. The Biological clocks at the South Pole.-Nature, 1962, v. 195, № 4840, p. 467-480.**

3. Чернышев В.Б., Афонина В.М. Суточный ход геофизических факторов и чувство времени.-Журн. общ. биол., 1976, т. 37, № 5, с. 722-730.

4. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.; Наука, 1968. 288 с.

5. Макеев В.Б., Вольвовская Л.С. Информационное значение слабых электромагнитных полей инфранизкого частотного диапазона.-В кн.: Физ.-мат. и биол. пробл. действия ЭМП и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т. I, с. 319-320.

6. Браун Ф. Геофизические факторы и проблема биологических часов.-В кн.: Биологические часы. М.: Мир, 1964, с. 103-126.

7. Хаяси Т. Нелинейные колебания в физических системах. М.:Мир, 1968, 215 с.

8. **Aschoff J., Klotter K., Wever R. Circadian vocabulary.-In Circadian clocks. Amsterdam, 1965, p. 10-19.**

9. Владимирский Б.М., Волынский А.М. Воздействие электромагнитных полей с напряженностью, близкой к естественной, на физико-химические и биологические системы. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т. I, с.126-150.

10. Михайловский В.Н., Войчишин К.С., Грабар Л.И. О восприятии некоторыми людьми инфранизкочастотных колебаний магнитного поля и средствах защиты.- В кн.: Реакции биологических систем на слабые магнитные поля. М.: Наука, 1971. 147 с.

11. Холодов Ю.А., Кориневский А.В., Бувин Г.Н. и др. Пространственно - временные соотношения биопотенциалов разных областей коры мозга кроликов при воздействии низкочастотных магнитных полей. - В кн.: Магнитное поле в медицине: Тр. Кирг. мед. инс -та, 1974, т. 100, с. 12-13.

12. Баньков В.И. Влияние оложномодулированных ЭМП на электрическую активность мозга, работу сердца и дыхание животных. - Науч . тр. Свердловск. пед. ин-та, 1974, № 169, с.10.

13. **Maxey E.S. Critical aspects of human versus terrestrial electromagnetic aymbiosis.-In: Biological effects of electromagnetic waves. New York, 1976, p. 331-340.**

14. Владимирский Б.М., Волынский А.М., Виноградов С.Д. и др. Экспериментальные исследования влияния электромагнитных полей сверхнизкой частоты на теплокровных животных и микроорганизмы. - В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с. 224-233.

I5.Gavalas R.J., Walter D.O., Hamer, Adey W. Effect of low level low-frequency electric fields on EEG and behavior in Macaca nemestrina.— Brain Res., 1970, v. 18, p. 491-502.

I6.Войтинокий Е.Я., Гендельс Б.С.,Гольцман Б.И. и др. О влиянии слабого магнитного поля на электрическую активность мозга. - В кн.: Магнитное поле в медицине. Фрунзе, Науч. тр. мед. инст-та, I974, с. 2I-22.

I7.Судаков К.В., Антимоний Г.Д. Модулированные электромагнитные поля как фактор направленного биологического действия. - В кн.: Системные свойства тканевых организаций. М., I977, с. 2I2-2I4.

I8. Эйди У.Р. Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям. - Физиология человека, I975, т. I, № I, с. 59-68.

I9.Волынский А.М. Изменение сердечной и нервной деятельности у животных различного возраста при воздействии электромагнитными полями низкой частоты и малой напряженностью. - В кн.:Влияние электромагнитных полей на биологические объекты. Харьков, I973, т. 53,с.7-I3. (Тр. Крым. мед. инст-та).

20. Удинцев Н.А., Канская Н.В. Влияние магнитных полей на сердце. Томск: Изд-во Том. ун-та, I977. I23 с.

2I.Аристархов В.М., Тищенков В.Г., Пирузян Л.А. Биологическое действие слабого низкочастотного импульсного электромагнитного поля. - Изв. АН СССР. Сер. биол., I978, № I, с. I3I-I34.

22.Persinger M.A. Possible cardiac driving by an external rotating magnetic field.-Int.J.Biometeorol., 1976, v. 8, № 3, p. 443-447.

23.Brown F.A.Jr. Biological clocks: endogenous cycles synchronyzed by subtle geophysical rhythms. -Biosystems, 1976, v. 8, p. 67-81.

24.Wever R. Über die Einflissung der circadianen Periodik des Menschen durch schwache elektromagnetische Felder.-Z.vergl. Physiol., 1967, B.56, S. 111-128.

25.Bliss V.H., Heppner F.H. Circadian activity rhythm influenced by near zero magnetic field.-Nature, 1976, v. 261, № 5559, p. 411-412.

26.Нахальницкая З.Н., Мастрюкова В.М., Андрианова Л.А., Бородкина А.Т. Реакция организма на воздействие "нулевого" магнитного поля. - Космич. биология и авиакосмическая медицина, I978, № 2, с. 74-76.

27. Казымов П.П. О ритме движения листьев фасоли в условиях экранирования естественных ЭМП. - В кн.: Колебательные процессы в биологических и химических системах. I97I, т. 2, с. I78.

28.Журбицкий З.И., Горбатов В.А., Чаплыгина Н.С. - О механизме абсорбции углекислоты листьями растений. - Физиология растений, I968, т. I5, с.4I6-42I.

29.Wever R. Human cercadian rhythms under the influence of weak electric fields and the different aspects of ghese studies.-Int.J.Biometeorol., 1973, v. 17, № 3, p. 227-232.

30. Владимирский Б.М. Биологические ритмы и солнечная активность.- В кн.: Биологические ритмы. М.: Наука, 1980, т. 41, с. 289-315.
31. Чибрикин В.М., Коган А.М., Аршенянский А.И., Пирузян Л.А. Действие электромагнитного поля на живой организм. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т. 2, с. 51-52.

5.2. Околонедельные ритмы сердечно-сосудистых осложнений и их корреляция с вариациями геомагнитного поля

Проблема выявления параметров гелиогеофизических и метеорологических факторов, влияющих на организм в естественных условиях пребывания его в биосфере, представляет сложную задачу ввиду недостаточности современных представлений об информативных парметрах среды, формирующих биотропный эффект.

Трудности обработки и анализа метеогеофизической и биомедицинской информации обусловлены рядом факторов. Случайный характер событий, формирующих метеорологические и геофизические процессы, определяет возможноть их описания лишь в рамках вероятностной модели. Нестационарность процессов затрудняет получение достоверных статистических характеристик по реализациям конечной длительности. Многосвязность и статистический характер физиологических показателей, обусловленные действием на объект факторов внешней среды, психологичеоких стрессоров и других артефактов, а также индивидуальные особенноти организма затрудняют выявление закономерностей в динамике исследуемых процессов.

.К числу наиболее важных и актуальных в настоящее время аспектов следует отнести выявление тонких механизмов, существующих в сложном комплексе гелиогеофизических и метеорологических влияний на биологические объекты. В этом плане наименее разработаны проблемы достоверности обработки данных, интерпретации результатов прогнозирования. Решение этих проблем требует разработки эффективных методов и вычислительных алгоритмов, реализующих выделение информативных параметров на фоне помех и обеспечивающих доотаточную точность в оценке статистических характеристик, а также сжатие информации, которая содержится в больших массивах исходных данных.

Цель настоящей работы – совместное изучение периодической структуры интенсивности инфарктов миокарда и H , Д , Z -компонент ГМП для количественной оценки их связи в естественных условиях существования биосферы.

В основу исследования положена следующая модель. Рассматриваетоя объект, находящийся в реальных условиях и подвергающийся воздействию внешних факторов. Реакцию объекта на воздействия $Y_p(k)$ характеризует вектор состояния $X_q(k)$, элементами которого являются составляющие суточной интенсивности сердечно-сосудистых осложнений при условии дифференциации больных по диагнозу, полу и возрасту. Векторная функция $Z_p(k)$ характеризует шум на выходе, обусловленный некоррелированными с вход-

ными возмущениями источниками, и определяется психологическими отрессорами, функциональными особенностями организма, множеством артефактов повседневной жизни. Оператор $q(u)$ описывает закон, по которому множеству входных возмущений ставится в соответствие множество медицинских показателей, и характеризует тракт, воспринимающий информацию об изменении внешних физических воздействий.

Полный отклик дискретной системы, состоящей из q входов и p выходов при наличии постороннего шума на выходе записан в виде m-свертки:

$$Y_p(k)=\sum_{u=0}^{n} q(u)X_q(k \underset{m}{\oplus} u)+Z_p(k),$$

где знак $\oplus$ означает сумму по модулю m. В связи со спецификой образования m-сдвига для формирования реакции объекта помимо текущих и предыдущих входных данных необходимо знание будущих входных отсчетов. Технически при проектировании m-фильтров это реализуется устройством памяти в виде линии задержки, в которой хранятся предыдущие отсчеты. В организме человека такой инерционной системой, способной накапливать информацию о среде и в соответствии с ее вариациями перестраивать регуляцию процессов жизнедеятельности, является центральная нервная система.

Интерес представляют два вида корреляций: 1) связь между входными и выходными параметрами объекта; 2) функциональная зависимость между переменными на входе и выходе объекта. При наличии статистически значимой связи между входными и выходными переменными объекта и известном операторе $q(u)$ возможно своевременное оказание медицинской помощи при использовании ЭВМ в замкнутом контуре управления.

Экспериментальные исследования показывают, что циклы поведенческих реакций и физиологических ритмов биологических объектов коррелируют с периодически изменяющимися параметрами внешней среды, причем синхронизаторами могут быть различные гелиогеофизические и метеорологические факторы, к которым организмы чувствительны [1,2]. В связи с наличием ~1, ~7, ~14, ~27-суточных колебаний в спектре многих природных явлений предоставляется возможным синхронизация внешними физическими факторами не только околонедельного, но и некоторых других физиологических ритмов.

Исследовалась реакция объекта на каждый из воздействующих факторов среды и на совместное влияние группы факторов. В первой группе исследований рассматривались случаи, когда факторы среды представляют: 1) независимые равноправные воздействия; 2) зависимые неравноправные воздействия.

В первом случае связь между входными и выходными переменными объекта оценивалась с помощью функции обычной когерентности [3]

$$\varkappa^2(\nu)=\Gamma_{12}(\nu)/\Gamma_{11}(\nu)\Gamma_{22}(\nu),$$

где ν – спектральный индекс; $\Gamma_{11}(\nu)$, $\Gamma_{22}(\nu)$ – автоспектры рассматриваемых последовательностей; $\Gamma_{12}(\nu)$ – их взаимный спектр.

В отличие от корреляционной функции, которая нормируется по средней мощности иоследуемых последовательностей, функция когерентнооти нормируется по мощности каждой периодической составляющей независимо. Это позволяет повысить точность и доотоверность измерений за счет устранения влияния структурных особенностей автокорреляционных спектров переменных, измерить часть мощности, спределяемую воздействующим фактором, и часть мощности, обусловленную шумом для данной периодической составляющей.

Однако шум на выходе объекта может обусловливаться не только исследуемыми, но и другими воздействиями. В этом случае функция обычной когерентности примет ошибочно низкие значения, и для получения доотоверной оценки связи необходимо вычислить функцию частной когерентности /3/

$$\varkappa^2_{y_j, x_i / x_\ell}(z) = \frac{M_{y_j, x_i}}{\sqrt{M_{y_j, y_i}\, M_{x_i, x_i}}},$$

где M_{ℓ_m} – соответствующий элементу $\Gamma_{\ell m}$ минор спектральной матрицы $\Gamma_{y_j, x_q}(z)$ всех $x_1(k), x_2(k), \ldots, x_q(k), y_i(k)$ переменных.

Для данной периодической составляющей функция частной когерентности определяет связь выходной и одной из входных переменных после устранения влияния на них всех остальных исследуемых переменных.

В случае, когда факторы среды представляют собой зависимые наравноправные воздействия, предполагалось, что связь между двумя воздействующими факторами высока. Один из них $X_i(k)$ оказывает существенное влияние на переменную $Y(k)$ на выходе объекта, а второй $X_j(k)$ не связан с $Y(k)$. Тогда вычисленная с помощью коэффициента обычной когерентности связь между $X_j(k)$ и $Y(k)$ будет принимать ошибочно высокие значения и отражать лишь тот факт, что связь между воздействующими факторами велика. В этом случае достоверно оценить связь между $X_j(k)$ и $Y(k)$ можно путем использования функции частной когерентности, которая будет принимать меньшие значения, чем функция обычной когерентности.

Реакция объекта на совместное влияние группы действующих факторов иоследовалась на основе функции множественной когерентности /3/

$$\varkappa^2_{Y_j, X_1, X_2, \ldots, X_q}(z) = 1 - \frac{|\Gamma_{Y_j, X_q}(z)|}{\Gamma_{Y_j, Y_j}(z)\,|\Gamma_{X_q, X_q}(z)|}.$$

Для данной периодической составляющей эта функция позволяет определить долю мощности переменной величины на выходе объекта, определяемую суммарным влиянием учитываемых воздействий.

Эффективность спектральных методов исследования динамических характеристик объектов в значительной степени зависит от того, насколько выбранная система ортогональных функций соответотвует функции отклика на единичный импульс. В ряде случаев несколько отличных от нуля коэффициентов позволяют получить хорошую аппрокоимацию последовательности.

Однако при анализе многосвязных биологических объектов, находящихся под воздействием сигналов и помех различной природы, приходится учитывать большое число коэффициентов при использовании любых ортогональных разложений. Поэтому при выборе аппроксимирующих функций основным требованием является обеспечение необходимой доотоверности результатов при помощи простых в реализации алгоритмов. Иоследовалась также целесообразность оценки статистических характеристик путем ортогонального разложения по функциям Уолша [4]. Метод рекомендован для практического использования в связи с простотой структурной реализации быотрых алгоритмов Уолша, обеспечивающих необходимую достоверность результатов.

Постулировалось, что скорость изменения факторов внешней среды является информативным параметром, сигнализирующим неблагоприятную реакцию организма, поэтому при предварительной обработке информации использовался фильтр первых разностей [3]. Для корректного сопоставления существенно разномасштабных переменных проведено нормирование реализаций.

Обеспечение достоверности оценки спектра мощности достигалось в два этапа. На первом каждая реализация, состоящая из 512 точек отсчета, образованная синтезом частично перекрывающихся интервалов (январь–март, март–июнь, июль–октябрь, сентябрь–ноябрь), разбивалась на всемь равных отрезков, квазистационарность которых проверялась по критерию серий [3]. Для восьми отрезков реализаций вычислялись оценки выборочного спектра мощности $S^2(z)$, которые затем осреднялись по частоте следования. На втором этапе проведено осреднение полученного спектра по смежным частотам следования, сгруппированным по 1/3–октавному принципу.

$$\Gamma(n) = S^2(z)$$

$$n = z = 0,1,2,3$$

$$\Gamma(n) = \frac{1}{2^{i-3}} \sum_{z=a}^{b} S^2(z) \qquad a = 2^{i-1}$$

$$\Gamma(n+1) = \frac{1}{2^{i-3}} \sum_{z=b}^{c} S^2(z) \qquad b = 5 \cdot 2^{i-3}$$

$$\Gamma(n+2) = \frac{1}{2^{i-2}} \sum_{z=c}^{a} S^2(z) \qquad c = 6 \cdot 2^{i-3}$$

$$i = 3,4\ldots\ ;\ n = 4,7,10\ldots$$

где $\Gamma(\omega)$ – мощность в полосе частот следования, соответствующих 1/3 октавы.

По мере отдаления от начала координат число осредняемых спектральных компонент увеличивалось по 1/3 – октавному закону. Такая фильтрация последовательностей позволила сохранить информацию о тонких деталях спектра; сократить число анализируемых спектральных компонент путем исключения излишней детализации спектра; обеспечить малую величину дисперсионной ошибки за счет расширения полосы анализа.

Экспериментальные исследования связи ГМП и частоты инфарктов миокарда проводились на ЭВМ М-222. В качестве исходной информации рассматривались временные ряды среднесуточных значений H, D, Z -компонент ГМП и ежедневные числа достоверных случаев крупноочагового инфаркта миокарда за 1972 г. по данным основных, в том числе специализированных, стационаров Ленинграда [5].

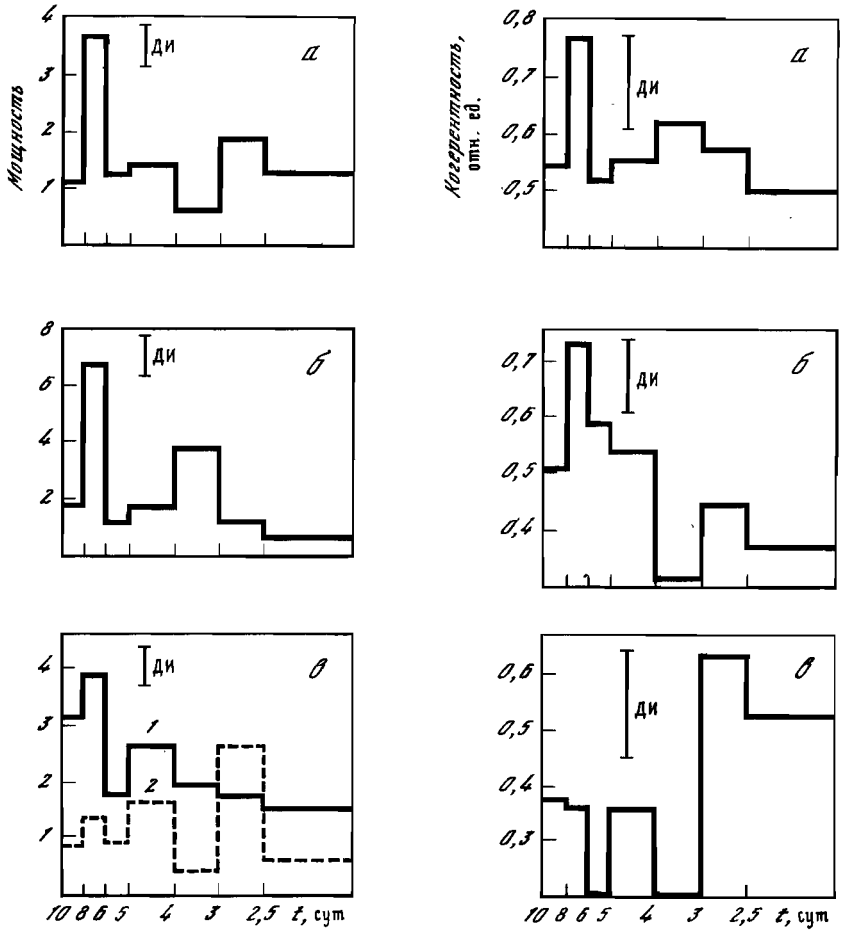
На рис. 20 представлены оценки спектров мощности частоты инфарктов миокарда и H, D, Z -компонент геомагнитного поля. При проведении исследований в диапазоне колебаний от 11 до 2 сут. максимальная энергия спектров частоты инфарктов миокарда, H и D-составляющих ГМП концентрируется в диапазоне колебаний с периодами 6-8 сут.

В результате оценки связи внешних физических воздействий и частоты инфарктов миокарда при помощи функций обычной, частотной и множественной когерентности установлено, что в диапазоне колебаний с периодами 6-8 сут существует статистически значимая, не зависящая от других воздействующих факторов связь интенсивности инфарктов миокарда с H, D- составляющими ГМП.

Оценки функций частной когерентности между частотой инфарктов миокарда и H,D,Z-составляющими ГМП представлены на рис. 21. С 95%-ной доверительной вероятностью истинные значения функции частной когерентности попадают в интервалы 0,82; 0,96 , 0,73; 0,9 для H- и D-составляющих ГМП соответственно. Из полученных результатов следует, что указанные факторы представляют собой независимые воздействия. Однако их совместное действие затрудняет достоверную оценку связи с помощью функции обычной когерентности, принимающей заниженные значения в диапазоне колебаний с периодами 6-8 сут. Малые числовые значения функции множественной когерентности (меньше 0,3 на всем диапазоне исследований) свидетельствуют о неадекватности аддитивной модели и дают основание для утверждения, что информация о воздействующих факторах в данной модели избыточна, а уровень мешающего шума велик.

Спектральный состав геомагнитных возмущений зависит от процессов, протекающих на Солнце и в межпланетной среде. Так, синодическое вращение Солнца обусловливает в спектральном составе геомагнитных возмущений 27- и 14-дневную периодичность. Периоды, близкие к недельным (6-8 дней), по-видимому, формируются в спектре геомагнитных возмущений под влиянием волн скорости в солнечном ветре [6].

Функции биологических объектов также подвержены ритмическим колебаниям различной частоты /1,2/. Главнейшим корректором циркадианного ритма являются все геофизические факторы, связанные с вращением Земли вокруг собственной оси /1/. Полученные результаты приводят к заключению, что существуют датчики времени биологических ритмов с околонедельным периодом колебаний, причем амплитудно-частотная характеристика тракта биологического объекта, воспринимающая информацию об изменении параметров внешних физических воздей-



Р и с. 20. Оценки спектров мощности

а - частота инфарктов миокарда; б - Н-составляющая; в: I - Д-составляющая, 2 - H_z-составляющая геомагнитного поля. ДИ - 95%-ные доверительные интервалы для спектральной компоненты с периодами колебания Т = 6 ÷ 8 сут

Р и с. 2I. Оценка функций частной когерентности между интенсивностью инфарктов миокарда и Н- (а), Д- (б) и H_z (в) -составляющими геомагнитного поля, ДИ - то же, что на рис. 20

ствий, содержит ряд дискретных составляющих в спектре, соответствующих циркадному и некоторым другим ритмам физиологических процессов.

Изучение околонедельных биологических ритмов открывает пути к изучению механизма влияния ГМП на биологические объекты и к отысканию целенаправленного действия на адаптационные функции организма.

Прогноз интенсивности 6–8-суточных колебаний геомагнитной активности позволит своевременно организовать комплекс лечебно-профилактических мерсприятий.

Литература

I. Алякринский Б.С. Основы научной организации труда и отдыха космонавтов. М.: Медицина, 1975. 206 с.
2. Хальберг Ф. Хронобиология. Кибернетический сборник. М.: Мир, 1972, № 9, с.189–239.
3. Бендат Д., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М.: Мир, 1972. 463 с.
4. Трахтман А.М., Трахтман В.А. Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах. М.: Сов.радио, 1975. 207 с.
5. Ганелина И.Е., Чурина С.К., Савсяров Н.В. Состояние физических факторов внешней среды и частота основных осложнений острого инфаркта миокарда. – Кардиология, 1975, № 10, с.17-21.
6. Почтарев В.И., Птицына Н.Г., Чернин А.Д. Недельные геомагнитные вариации и их возможная связь с волнами скорости в солнечном ветре. – Геомагнетизм и аэрономия, 1979, № 3, с.570-571.

5.3. Предсмертные изменения ритмов двигательной активности вьюна в летальном периоде

Выявление различных временных регуляторных механизмов у животных и особенно связь этих механизмов о процессами старения и смерти – одна из актуальных и слабо изученных проблем биологии и медицины. Важным звеном в этой проблеме является разработка способов, позволяющих отодвинуть момент наступления смерти живых систем (в том числе человека) к естественным для каждого вида организмов биологическим границам. В этой связи целесообразно провести исследования на животных и проанализировать ситуации, ведущие к смерти организма. Следует использовать методы непрерывного получения объективной информации аналогового характера одновременно по нескольким каналам. Такой подход позволит восстановить картины наступления смерти за период от первых проявлений патологических процессов до последних мгновений жизни организма.

Известная литература по связи причин гибели живых систем с биологическими ритмами в основном относится к человеку и высшим позвоночным. Так, в обзоре /1/ анализируется смертность от инфек-

ционных заболеваний, совпадающая с фазой максимальной чувствительности к токсинам в суточном ритме человека и сходство кривых окологодовых ритмов заболеваемости от разных болезней. Факторы старения организмов, приводящие к смерти, изложены в работах /2-7/. Процессы старения и смерти как важные регуляторные механизмы рассматриваются /8/ таким образом, что в общечеловеческом плане человеческая смерть (индивидуальная) становится необходимым условием прогресса вида.

Настоящая работа является результатом анализа накопленной за 10 лет аналоговой информации о предсмертном поведении вьюнов. В непрерывных многосуточных опытах с различными воздействующими факторами определяли влияние ПМП, изменение гидростатического давления, соизмеримого с колебаниями атмосферного, действие температур 4° и 21° на суточную двигательную активность вьюнов. Этот анализ раскрыл объективную картину процесса наступления смерти вьюнов и дал возможность прогнозировать наступление и развитие критических состояний в организме, ведущих к смертельному исходу, по ряду поведенческих реакций - двигательной активности.

При изучении биоритмов двигательной активности вьюнов наблюдались случаи гибели одного из участников длительного эксперимента. Все опыты соответствовали единым правилам, установленным для хронобиологии. Вьюны отлавливались в питьевых водохранилищах Подмосковья, для опытов отбирались самые здоровые и половозрелые особи, которые помещались индивидуально в отдельные аквариумы на срок не менее 3-5 недель. Затем по двум или более каналам производилась аналоговая запись суточной активности, температура, освещённость, давление и другие параметры были отабилизированы. На протяжение всего опыта поддерживалась температуры $\pm 1^{\circ}$, длительность фоторежимов ± 2 мин. Запись активности вьюнов в зависимости от поставленных задач производилась непрерывно в течение всего опыта, длящегося от 3 до 30 сут. Аналоговая запись двигательной активности водных животных осуществлялась при помощи специальных датчиков по методике, разработанной автором.

Все зарегистрированные случаи смерти вьюнов, наступившей во время опытов, сведены в табл.7, из которой следует, что независимо от года, сезона, места, температуры, фоторежима все случаи наступления смерти (кроме № 5) приходятся на светлое время естественных суток.

Наблюдения над вьюнами в природных водоёмах, как и в лаборатории /9,10/, показали, что вьюны ночные животные и увеличение уровня двигательной активности у них отмечается в природе в среднем с 21 до 02 ч ночи.

На рис.22 сопоставлены все зарегистрированные случаи смерти с "акрофазой" - увеличение или подъем максимального значения уровня

Таблица 7

Зарегистрированные случаи смертей вьюнов в хронобиологических опытах

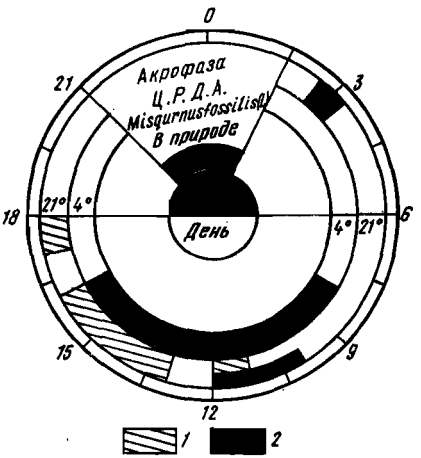
№	Дата	Фоторежим	Температура, °С	Наступление смерти, время суток
I	I4.09.73	СТ=I2:I2	2I	I3-I4
2	4.I0.73	СТ=I2:I2	25	I4
3	7.07.76	ТТ	4	8-I0
4	8.07.76	ТТ	4	9
5	5.05.77	ТТ	2I	3
6	4.09.77	ТТ	4	6
7	5.I0.77	ТТ	4	I2-I4
8	26.I0.77	СТ=6:6	2I	I7
9	28.I0.77	СТ=6:6	2I	II
I0	4.II.77	СТ=6:6	2I	I0
II	I7.I2.77	СТ=6:6	2I	I0
I2	25.I2.78	СТ=6:6	2I	I0

двигательной активности - суточного ритма активности вьюнов в природе.

Видно, что максимум распределения смертей, независимо от условий опыта, находится в противофазе с акрофазой суточного ритма двигательной активности вьюнов. Смерть наступает не в период повышенной активности рыб в природе, а в период покоя, при низком уровне активности вьюнов. Попытки найти объяснение обнаруженному в литературных источниках пока не привели к положительным результатам. Более того, проведённый анализ имеющейся информации, сопоставления описанного выше явления со многими природными показателями, такими, как колебания давления, температура, освещённость, осадки и т.д. /II/ не выявили достоверных совпадений с картиной наступления смерти вьюнов. Возможно влияние космических сил, действующих через "информационное окно" в атмосфере Земли, в диапазоне слабых электромагнитных полей /I2/.

Анализ аналоговой информации помог наряду с другими факторами выявить картину поведения вьюнов в последние часы жизни. У всех рыб наблюдается в общих чертах единая картина поведения, предшествующая наступлению смерти, независимо от условий эксперимента, выражающаяся в резком увеличении уровня двигательной активности по сравнению с предшествующими часами. Этот предсмертный всплеск двигательной активности вьюнов - продолжительное /не менее I-2 ч/ и достаточно мощное /до 60-80% от нормы/ увеличение максимального значения уровня двигательной активности.

На рис.23 представлены отдельные фрагменты предсмертного поведения вьюнов, типичные для всех случаев зарегистрированных смертей. Видно,



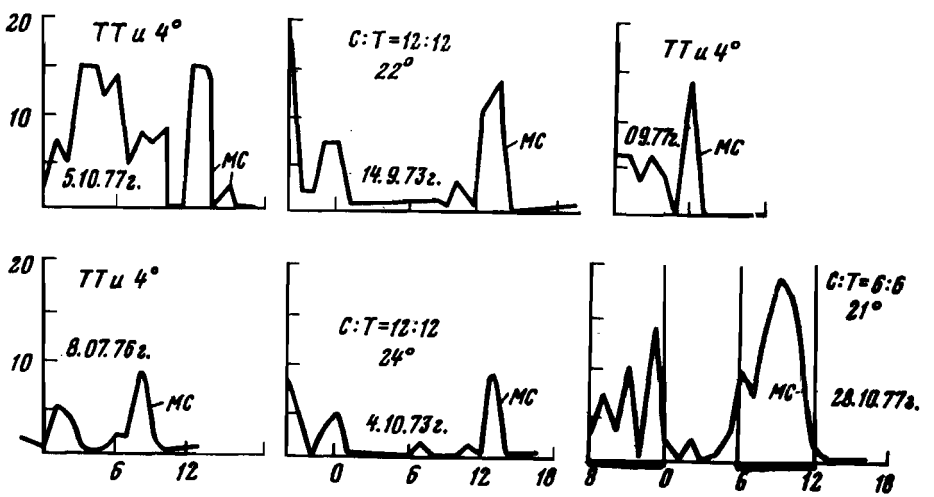
Р и с.22. Сопоставление акрофазы суточного ритма двигательной активности вьюнов в природе с моментами смертей во время опытов

I – смерть в светлую фазу

2 – смерть в тёмную фазу

что предсмертный всплеск двигательной активности вьюнов имеет сходные формы при различных фоторежимах и температурах, приобретая вид островершинного пика.

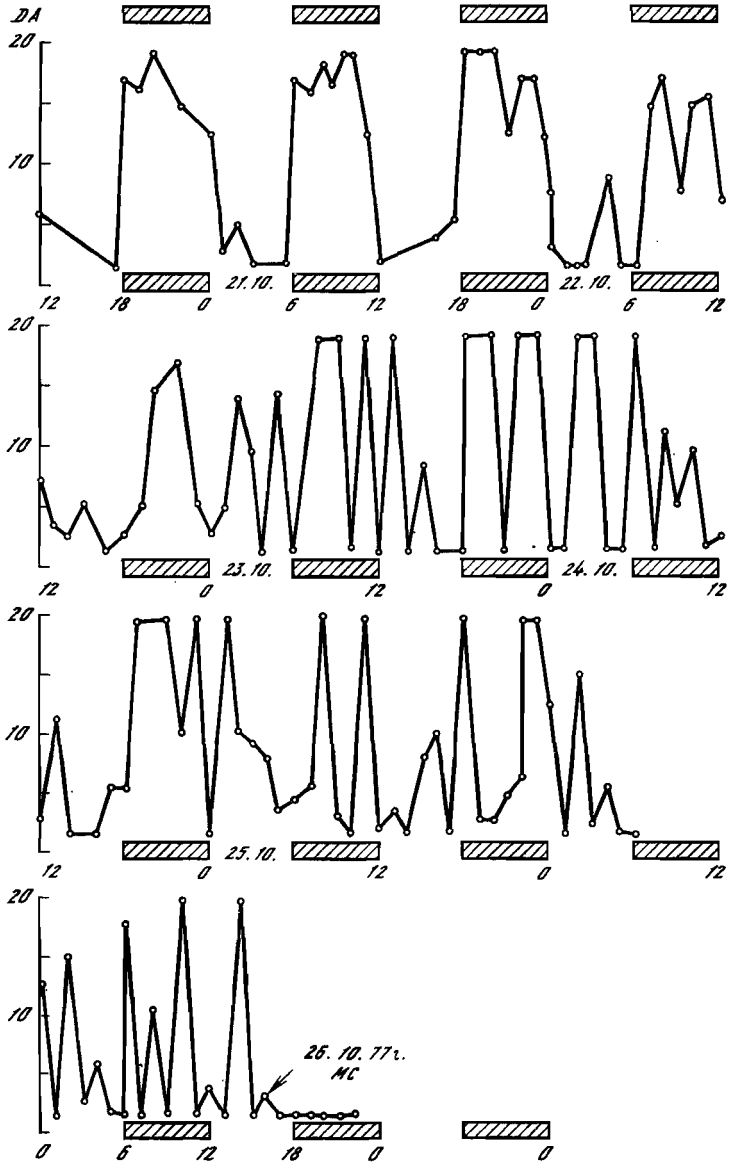
При изучении влияния различных фоторежимов на суточную активность вьюнов было обнаружено, что у рыб, полностью адаптированных к условиям опыта и имеющих чёткий ритм, соответствующий установленному фоторежиму, происходят резкие нарушения в ритме двигательной активности за несколько естественных суток до смерти. Характерная картина таких изменений представлена на рис. 24. В верхней его части виден чёткий ритм активности вьюна, типичный для нормального животного, у которого в темновой фазе фоторежима СТ=6:6 при 21°С происходит максимальный подъём уровня двигательной активности. Световая фаза характеризуется в норме минимальной активностью как



Р и с. 23. Предсмертный всплеск ДА вьюнов.

в природных водсёмах, так и в лабораторных условиях. Состояние испытуемого вьюна не отличается от нормального, т.к. картина ритма суточной активности (а экспериментальные "сутки" при фоторежиме СТ=6:6 равны 12 часам) характерна для всех вьюнов, находящихся в этих условиях. На рис.24, а и б можно проследить образование и развитие процесса десинхроноза, когда происшедшие внутри организма вьюна какие-то серьёзные изменения привели к нарушению четко работавших ранее механизмов биологических часов и систем, синхронизирующих их функционирование с внешними синхронизаторами ритма, в данном случае - с фоторежимом СТ=6:6. Десинхроноз, как это видно на рис.24, проявил себя за 4 естественных (24-часовых суток). Во всех зарегистрированных случаях десинхроноз проявился в резком изменении ритмики поведения вьюнов, в изменении соотношений цифровых значений уровней двигательной активности в соответствующих фазах фоторежима СТ (максимум - в темновой, минимум - в световой фазе ритма). Так, световая фаза СТ=6:6 от 00 до 06 ч 22.10.77г. заметно отличается от предыдущей световой фазы. С этого момента наступает потеря вьюном фоточувствительности и способности к анализу изменяющихся условий. Импульс двигательной активности, возникший в 04 ч 22.10. 77г., по-видимому, является первичным сигналом внутренних повреждений, вызвавших нарушение ритма активности вьюна. С этими повреждениями организм пытается бороться несколько циклов СТ=6:6 до 23.10. 77г., когда десинхроноз сигнализировал о катастрофических нарушениях, происходящих внутри организма вьюна, приведших его к гибели через 6 экспериментальных суток.

Предсмертные картины суточной активности вьюнов, выявившие развитие десинхроноза, можно объяснить особенностями строения мозга у костистых рыб, у которых нет ещё зачатков мозговых корковых структур. Несмотря на разнообразие в деталях строения мозга, у рыб имеются общие черты - отсутствие интегральных областей, полное разобщение мозговых центров разных анализаторов, - что позволяет в ряде случаев переносить данные эксперимента с одного вида на другой /13/. Следует отметить, что у рыб на каждый раздражитель, для которого есть рецепторные аппарат, может образован условный рефлекс. О затухании условных рефлексов у рыб (а четкий 12-часовой ритм двигательной активности, вызванный фоторежимом СТ=6:6, можно рассматривать как условно-рефлекторную реакцию,) данных мало /1,4/, В основном мнение заключается в том, что прочные условные рефлексы затухают с трудом, для этого требуются многочисленные положительные стимулы. Биологическое значение прочности двигательных условных рефлексов заключается в том, что двигательный анализатор теснее всего связан с одним из самых могучих инстинктов организма - инстинктом самосохранения /15/. Регуляция любых ритмических процессов в организме осуществляется по принципу обратных связей /16,17/,



Р и с. 24. Предсмертное развитие десинхроноза – нарушение четкого ритма двигательной активности вьюна за несколько суток до смерти

По оси ординат – двигательная активность (ДА)

т.е. любые отклонения в организме - своего рода сигнал для регуляции этого отклонения.

Основываясь на известных данных о том, что двигательная активность является главным фактором, непосредственно влияющим на интенсивность клеточного деления, можно подойти к решению некоторых проблем поведения и митотической активности диких животных, когда о ритмических процессах внутри организма возможно судить только по косвенным данным - через ритмы двигательной активности. С этих позиций следует проанализировать картины предсмертного поведения вьюнов.

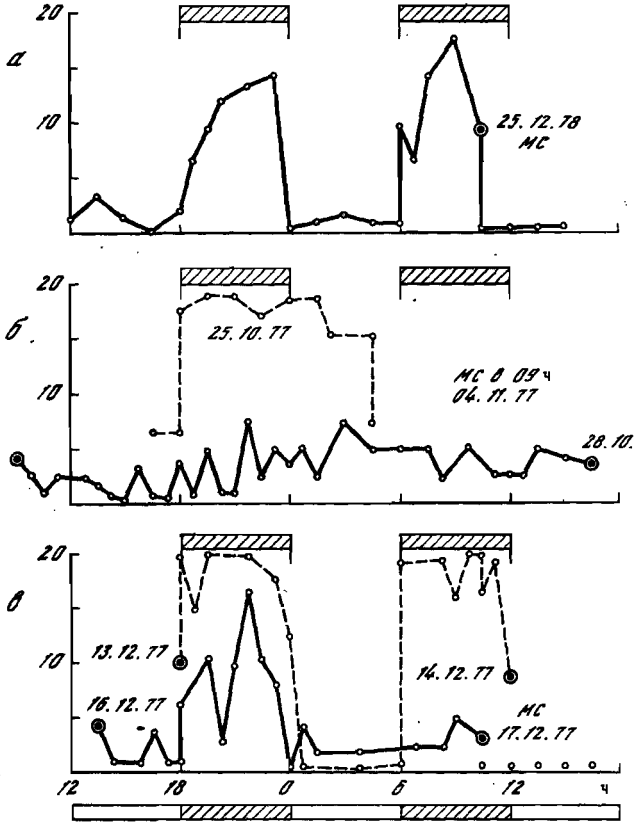
На рис.25 представлены фрагменты опытов с вьюнами, умершими во время экспериментов. Каждый фрагмент представляет собой наиболее характерную картину поведения для соответствующей группы вьюнов.

На рис.25,а представлен фрагмент опыта, в котором смерть вьюна наступила без повреждения структур биологических часов. Это видно из того, что ритм двигательной активности сохранился до последних минут жизни вьюна без потери чувствительности к фоторежиму.

На рис.25,б показан фрагмент типичного предсмертного поведения с характерными для данной группы вьюнов повреждениями "синхронизирующих систем", которые отвечают только за связь внутренних биологических часов с жизненно важными факторами внешней среды. Повреждение этих систем имеет, по-видимому, менее важное значение для организма. Поведение вьюнов, у которых произошли нарушения в "синхронизирующих системах", отличается сильно развитым десинхронозом за много суток до смерти животного и характеризуется монотонным с невысоким уровнем активности поведением. В данном случае десинхроноз выявлен за 10 суток (естественных) до смерти и сопровождался полной потерей реакции вьюна на смену фоторежима. Монотонное понижение уровня двигательной активности не превышает 20% за последние 6 суток до смерти.

На рис.25,в представлено повреждение структур внутренних биологических часов. Отличительная особенность поведения этой группы вьюнов - наличие чёткой реакции на изменение фоторежима, утрата которой наблюдается только за сутки до смерти рыбы. Амплитуды уровней двигательной активности вьюнов этой группы долго сохраняются максимальными и только за несколько часов до смерти происходит резкий спад активности. Развитие десинхроноза в данном случае проявляется особенно ярко в последние часы жизни вьюна. По-видимому, механизмы биологических часов играют важную роль в гемеостазе организма, поэтому повреждения, затрагивающие нормальную работу этих систем, проявляются в быстром затухании суточного ритма двигательной активности вьюнов.

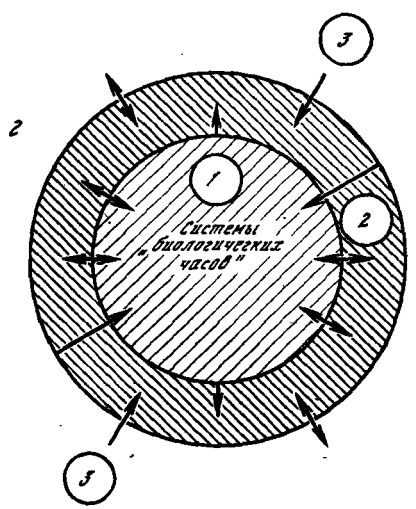
На рис.25,г представлено схематическое изображение рабочей гипотезы, разработанной на основании результатов многолетних экспери-



а. Нет повреждений временных структур

б. Смерть при повреждении "синхронизирующих систем"

в. Смерть при повреждении "внутренних биологических часов"



I – Внутренние биологические часы,
2 – Синхронизирующие системы,
3 – Внешняя среда,
— "отрицательные" (нормальные)
— "положительные" (возбуждение) обратные связи в организме

Р и с. 25. Типичные картины наступления смерти вьюнов и гипотеза о связи "синхронизирующих систем" с биологическими часами и внешней средой

ментальных исследований предсмертного поведения вьюнов. Гипотеза о взаимосвязи внутренних биологических часов с "синхронизирующими системами" - самостоятельными функциональными структурами, - посредством которых и осуществляется связь этих "часов" с жизненно важными факторами внешней среды, благодаря положительным и отрицательным обратным связям.

Итак, исследования показали, что все зарегистрированные случаи смерти вьюнов приходятся на светлое время природных суток независимо от места, времени и условий опыта, что находится в противофазе с естественным в природе увеличением уровня двигательной активности, приходящимся на 21-02 ч ночи. При некоторых формах десинхроноза наступлению смерти предшествуют характерные изменения в суточной ритмике двигательной активности. Выделены три типа условий наступления смерти, что является следствием функциональных различий структур временных анализаторов рыб.

Литература

I. **Reinberg A. Biometeorology, 1972, 5, N 2, p. 80-98.**

2. Воронов С.Н. О продлении жизни. Л.: Медицина. Ленингр.отд-ние. 1923. 240 с.
3. Нагорный А.В. Старение и продление жизни. М.: Изд-во АН СССР, 1948. 320 с.
4. Россет Э. Продолжительность человеческой жизни. М.: Наука, 1981. 382 с.
5. Пархон К. Возрастная биология. Л.: Медицина. Ленингр.отд-ние, 1966. 480 с.
6. Комфорт К. Биология старения. М.: Высш.школа, 1967. 360 с.
7. Дильман В.М. Почему наступает смерть. Л.: Медицина. Ленингр. отд-ние, 1972. 246 с.
8. Коган А.Б., Режабек Б.Г., Наумов Н.П., Чороян О.Г. Биологическая кибернетика. М.: Высш.школа, 1977. 408 с.
9. Маршуков Ю.В. Влияние неоднородного ПМП на поведение вьюна. - В кн.: Бионика. М.: Наука, 1973, ч.4, с.76-81.
10. Маршуков Ю.В. Воздействие МП, РиТ на циркадную ритмику двигательной активности рыб. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действий ЭМП и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.1, с.105-109.
11. Никольская Н. . Наблюдения метеорологической обсерватории МГУ. М.: Изд-во МГУ, 1983. 8 с.
12. Фролов В.А. Об информационном воздействии ЭМП на живые объекты. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действий ЭМП и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.1, с.313-319.
13. Праздникова Н.В. Высшая нервная деятельность рыб. - В кн.: Био-

логические основы управления поведением рыб. М.: Наука, 1970, с.36-39.
14. Завадовский М.М. Противоречивое взаимодействие между органами в теле развивающегося животного. – Учен.зап.МГУ, 1947, вып.47, с.1-80.
15. Шмальгаузен И.И. Факторы эволюции. М.: Наука, 1968. 480 с.
16. Bullough W.S. Proc. Roy. Soc. London. Ser. B, 1948, vol.135, p.879.
17. Вольф Д.Л. Суточный ритм смертности и спонтанной локомоторной активности мышей. – Тез.докл.2-го симпоз.СССР-ГДР. Тюмень, 1982 г., с.42.

5.4. Влияние Луны на биоритмы

Известно, что действие Солнца на биосферу в значительной степени регулируется и дополняется множеством факторов, среди которых особого внимания заслуживает воздействие Луны. Это объясняется , в частности, ее близостью к Земле, вследствие чего, например, гравитационное влияние Луны на нашу планету сравнимо с солнечным. Все это дает основание по-новому отнестись к многочисленным разрозненным наблюдениям о влиянии Луны на живые организмы и решать этот вопрос с общих методологических позиций в рамках единого научного направления о влиянии космических тел на процессы в биосфере.

Известны данные о биоритмах [1], близких к периодам явлений, связанных с движением Луны (лунные биоритмы) и наиболее ярко выраженных у организмов, обитающих в прибрежной зоне открытых морей и океанов и адаптировавшихся к чередованию океанических приливов и отливов. Приливно-отливные колебания уровня воды имеют наряду с полусуточными и суточными компонентами также и более длительные – месячные и полумесячные. Временной ход этих колебаний определяется прежде всего лунными сутками, а также синодическим обращением Луны (периодом смены лунных фаз). Во многих случаях лунные биоритмы проявляются в виде циркадных наряду с солнечными, для которых, как известно, основным ориентиром служат солнечные сутки (в среднем 24 ч), что приводит к сложной картине биоритмов. Однако лунная суточная компонента надежно отделяется от солнечной суточной.

Лунные биоритмы к настоящему времени установлены у диатомей, плоских червей, ракообразных, моллюсков, некоторых рыб и птиц, обитающих в литоральной зоне. Они отличаются очень точной привязкой к местным условиям прилива и могут долгое время сохраняться без изменения фазы в лабораторных условиях, в которых непосредственное приливно-отливное изменение уровня воды отсутствует. Наиболее замечательным, на наш взгляд, свойством лунных биоритмов в лабораторных условиях является их подстройка (в течение одной-двух недель) под местную кульминацию Луны, которая,

как правило, не совпадает с максимумом приливной волны. Поразительно, что этот эффект проявляется даже в тех случаях, когда наблюдения проводятся в глубине континента на географической долготе, существенно отличающейся от долготы места обитания.

Полумесячные и месячные лунные биоритмы наиболее заметны в ритмах размножения. Обычно это выражается в привязке процесса размножения к определенной фазе Луны (водоросли диктиота, червь палоло, рыба леуресгес, японские морские лилии, некоторые виды хирономид и поденок). Особенно интересны ритмы размножения беспозвоночных полихет, у которых ежегодный кратковременный сезон размножения приурочен не только к определенной фазе Луны, но и к определенному часу суток. В результате получается то же самое, что и при согласовании лунного и солнечного календарей - возникает известный из глубокой древности 19-летний цикл Метона [1].

Особо следует остановиться на так называемых свободно текущих циркадных биоритмах [1]. Часто для их изучения организм помещается в так называемые изолированные условия, когда, по мнению экспериментатора, устраняются все периодические внешние факторы и наблюдения якобы позволяют выяснить истинную периодичность эндогенных биоритмических процессов. При этом, как правило, наблюдаются отклонения периода биоритма от 24-часовой длительности. В частности, наблюдается "затягивание" периодов до 24,5-25ч. Если эти факты сопоставить с данными о лунных биоритмах и принять во внимание, что в действительности от многих периодических внешних факторов отстроиться либо невозможно (вариации силы тяжести), либо очень трудно (геомагнитные вариации, электромагнитные шумы), то можно высказать предположение, что для затягивающихся циркадных биоритмов естественным временным ориентиром служат лунные сутки. Поэтому целесообразно выполнить анализ данных о затягивающихся циркадных свободнотекущих биоритмах с целью выделения лунной компоненты.

Анализ 18-летних ежедневных дневниковых записей позволил высказать [2] утверждение, что эмоциональной, сексуальной и интеллектуальной активностям свойственны периоды в 7,14,21,28-30 сут. Такие же периоды (7-8, 13-15, 28сут) установлены в отношении повторяемости сновидений; известны данные о 28-суточной периодичности в обострении неврологических заболеваний, течении маниакально-депрессивных психозов, приступов эпилепсии, мигрени, неврастении, периодических параличей, истерических припадков, явлений алкогольного запоя [2].

По мнению автора работы [2] многодневные биоритмы имеют эндогенное происхождение, но соответствующие биологические ритмичные процессы запускаются внешними факторами, носящими, как правило, случайный, хаотический характер. Вследствие этого картина биоритмов может оказаться чрезвычайно запутанной из-за наложения нескольких периодических процессов, каждый из которых начался случайно. В жизни каждого человека существуют так называемые узловые точки, характеризующиеся "прояснением

и усилением душевной жизни, осоооой чувствительностью организма, особенностью по отношению к другим узловым точкам" /2/, которые проявляются в возрасте 6-7 лет, I2-I3 лет, I8-I9 лет, 3I-32 года, 37-38 лет, 43-44 года, 50 лет, 56-57 лет и т.д. В среднем получается многолетний ритм с периодом около 6-7 лет.

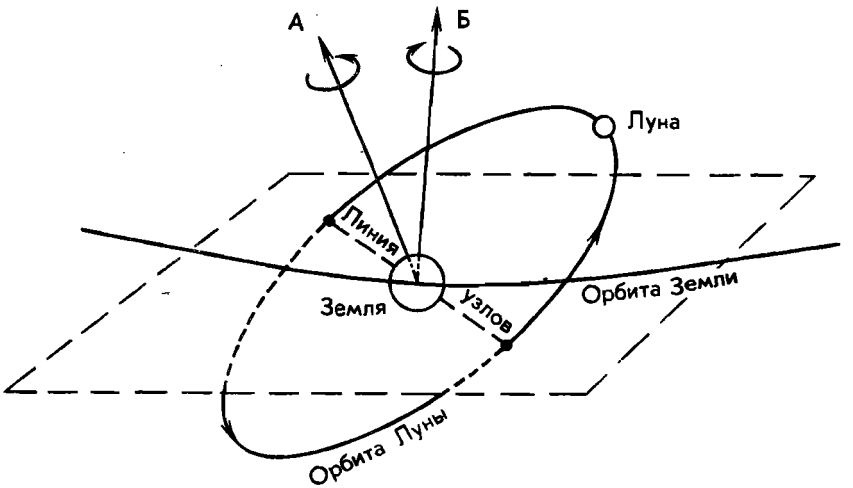
В дальнейшем наблюдения над многодневными биоритмами привели к появлению так называемой теории физических, эмоциональных и интеллектуальных биоритмов с периодами в 23, 28, 33 сут соответственно /3/. Если условно изображать биоритмы синусоидами, зависящими от времени по закону $\sin\frac{2\pi}{T}t$, где T - период биоритма, t - текущее время, то согласно этой теории все три биоритма начинаются с нулевой фазы в момент рождения, отличаются высокой точностью и характеризуются каждый своим критическим днем - моментом, когда фаза биоритма равна πn (n-целое). Особенно внимательно рекомендуется при этом относиться к двойным и тройным критическим дням, когда одновременно два или три биоритма имеют указанную фазу.

Нами проведена критическая оценка гипотезы /4/ и предложена ее модификация. Предположим, что многодневные биоритмы связаны с движением Луны (рис. 26) и обратим внимание на то, что из четырех ее околомесячных периодов два (период драконического месяца $T_д$ - интервала между двумя последовательными прохождениями Луны через один из узлов ее орбиты и период аномалистического месяца T_a - интервала между последовательными прохождениями через перигей) почти симметрично отклоняются от периода сидерического месяца T_c = 27,322, определяющегося движением Луны относительно неподвижных звезд ($\frac{1}{2}T_a + \frac{1}{2}T_д$ = 27,383). Поэтому за основу расчетов предполагаемых лунных биоритмов можно взять полусумму T_2 синодического T_0 = 29,530 (периода чередования лунных фаз) и сидерического T_c периодов: T_2 = 28,426 сут. Полагаем, что должны существовать еще два равноотстоящих от T_2 периода, причем в соответствии с наблюдениями длительность первого должна быть близка к 23 сут. Вводим период $T_I = \frac{5}{6}T_2$ и период $T_3 = \frac{7}{6}T_2$. Таким образом, в основу расчетов полагаются три периода: T_I = 23,69 сут; T_2 = 28,43 сут; T_3 = 33,I6 сут.

Предполагаем, что дни перестройки организма наступают через каждую четверть этих периодов. По истечении 248,73 сут. (биологический год) происходит совпадение фаз всех трех биоритмов. В пределах этого периода существует I5 двойных критических дней (совпадение фаз двух биоритмов) и один тройной критический день (совпадение фаз всех трех биоритмов).

Несмотря на то, что предложенный нами способ расчета пока еще нельзя назвать достаточно обоснованным, в пользу выбора периодов T_I, T_2, T_3 можно привести следующие доводы.

I. Если многодневные биоритмы связаны с движением Луны, то период T_2 в среднем удачно характеризует это движение.



Р и с. 26. Орбита Луны и ее движение (вращение перигея, определяющего аномалистический месяц, вокруг оси А, вращение линии узлов, определяющей драконический месяц, вокруг оси Б)

2. Длительность 13 больших биологических циклов (3233,5 сут) практически совпадает с периодом движения перигея (3232,6 сут), т.е. введение большого биологического цикла также оправдано.

3. Девятая часть большого биологического цикла (27,4 сут) практически совпадает с длительностью аномалистического месяца.

4. T_1, T_2, T_3 близки к установленным экспериментально 23-, 28- и 33-суточным периодам.

5. Длительность 10 T_2 = 284,3 сут практически совпадает со средней продолжительностью нормальной беременности, составляющей согласно современным данным 280-285 сут.

6. Длительность 5 T_2 = 142,1 сут близка к сроку первого шевеления плода (в среднем на 140 дне беременности).

7. Недостаточно корректное использование периода T_0 и введение периода T_2, учитывающего сидерическое движение Луны, подтверждается аналогичными результатами для циркадных ритмов: имеются данные о наземных организмах, у которых обнаружены колебания биоритмов, связанные со звездными сутками [1].

Последнее обстоятельство свидетельствует о том, что предложенные нами периоды могут быть пригодны не только для изучения многодневных биоритмов, но и для уточнения циркадных.

Таким образом, введенные нами периоды T_1, T_2, T_3 согласуются как с астрономическими, так и с некоторыми биологическими периодами. Интервалы времени между критическими днями, разумеется, лишь приблизительно описывают ход многодневных биоритмов. Их следует рассматривать

как некоторые временные опорные точки, в окрестности которых могут происходить смены физиологического состояния, аналогично тому, как для циркадных биоритмов временным ориентиром служит длительность суток.

Переходя к обсуждению возможных механизмов селенобиологических связей, следует обратить внимание на существенное обстоятельство методологического характера, обусловленное близостью периодов движения Луны и периода врещения Солнца. В гелиобиологии принято анализировать временные ряды на основе 27-суточного периода вращения активных областей Солнца. Однако активные области формируются в широком интервале гелиографических широт. Учитывая дифференциальное вращение Солнца, нетрудно убедиться, что в проявлениях солнечной активности встречаются периоды, сколь угодно близкие к лунным (например, на широте $\pm 27^0$ период вращения активной области составляет 28 сут, т.е. длительность, обычно ассоциируемая с Луной). С этой точки зрения представляет интерес переработка некоторых результатов гелиобиологии,полученных в соответствии с 27-суточным солнечным календарем ,согласно лунному календарю с целью выявления лунной компоненты в этих данных.Возможна,правда, и другая точка зрения.

Согласно [2] ритмическая организация движения материи имеет общую основу,пронизывает едиными ритмами живую и неживую материю,так что и ритмы движения небесных тел,и ритмы биологических процессов являются следствием единой более общей причины - законов организации материи.В известной степени эта точка зрения согласуется с современными представлениями об эволюции солнечной системы,о возникновении в ней резонансов (одним из которых и может оказаться отмеченное выше совпадение периодов лунного и солнечного движений).С чисто астрофизических позиций ясно также, что разделить влияние Луны и Солнца на биосферу трудно.Как и в гелиобиологии,селенобиологические связи могут быть либо опосредованными, либо прямыми.Опосредованные связи могут осуществляться за счет приливных эффектов в атмосфере, геомагнитных возмущений, изменения электрического состояния атмосферы, а также влияния Луны на метеорологичеокие факторы (температура, давление, влажность).Различие этих механизмов будет определяться различными периодами. Например, ход атмосферных приливов, грозовая деятельность, выпадение осадков определяются прежде всего синодическим месяцем [5] гравитационное воздействие Луны на метеорную пыль, выпадающую в атмосферу,- драконическим месяцем [6]. Следует отметить, что сами по себе вопросы о влиянии Луны на метеорологические факторы [5,6],о влиянии последних на человеческий организм [7] находится лишь в начальной стадии разработки, так что изучение опосредованных механизмов селенобиологических связей тесно переплетается с актуальными вопросами космической метеорологии и биометеорологии.

Среди механизмов, объясняющих влияние Луны на биологические объекты, следует отметить вариации геомагнитного поля,обусловленные Лу-

ной. Соответствующая гипотеза развивается в работе /I/. Кроме того отметим гравитационную гипотезу /8/, опирающуюся на данные гравитационной биологии /9/ и физиологии растений /I0/. В этой гипотезе предполагается существование клеточных и молекулярных механизмов, обеспечивающих восприятие живыми организмами не только гравитационных сил, но и их малых (в частности, приливных) изменений. Можно предположить ряд биофизических моделей таких механизмов /8/, которые пригодны для объяснения гравитационно-биологических эффектов вообще.

Особого внимания заслуживают разрабатываемые в последнее время физические модели нетеплового воздействия слабых микроволн на биологические системы /II, I2/. Эти модели, основанные на представлениях о возникновении когерентных возбуждений в сильно поляризованных биологических системах (биомембраны, клеточные органеллы, биомолекулы) под влиянием слабых ЭМП, пригодны для объяснения также и лунных биоритмов.

Таким образом, решение вопроса о механизмах селенобиологических связей тесно связано с современными проблемами космической метеорологии, биометеорологии, гравитационной биологии и вообще с проблемами влияния слабых внешних полей на биологические объекты. Для разработки механизмов могут оказаться пригодными модели, основанные на представлениях и методах физики твердого тела.

Литература

I. Браун Ф. Биологические ритмы. - В кн.: Сравнительная физиология животных. Т. 2, М.: Мир, I977, с. 210-260.

2. Пэрна Н.Я. Ритм, жизнь и творчество. Л.; М., I925. I38 с.

3. Neil D.E., Sink F.L., Laboratory investigations of biorhytms - Aviat. Space environ. Med., 1976, vol. 47, N 4, p. 425-429.

4. Агаджанян Н.А., Горшков М.М., Котельник Л.А., Шевченко Ю.В. Ваша работоспособность сегодня. М.: Сов. Россия, I978. 85 с.

5. Bradley D.A., Woodbury M.A. Lunar synodical period and widespread precipitation. - Science, 1962, vol. 137, 7 sept, p.748-749.

6. Adderley E.E., Bowen E.G., Lunar component in precipitation data.- Scienoe, 1962, vol. 137, 7 sept, p. 749-750.

7. Weihe W.H. The application of meteorology in medical science.- Int. J. Biometi., 1976, vol. 20, N 2, p. 157-165.

8. Горшков М.М. Гравитация и жизнь. - В кн.: Люди, пространство и время. М.: Знание, I976, с. I22-I43.

9. Смитт А.Г. Основы гравитационной биологии. - В кн.: Основы космической биологии и медицины. Т.2, кн.I, М.: Наука, I975, с. I4I-I76.

I0. Либберт Э. Физиология растений. М.: Мир, I975. 580 с.

II. Кайзер Ф. Нелинейные колебания (предельные циклы) в физических и биологических системах. - В кн.: Нелинейные электромагнитные волны. М.: Мир, I983, с. 250-287.

I2. Барнс Ф., Ху Ч. Нелинейные взаимодействия электромагнитных волн с биологическими материалами. - В кн.: Нелинейные электромагнитные волны. М.: Мир, I983, с. 286-308.

ГЛАВА II. МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ И МОДЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

I. ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ

I.I. Общие аспекты исследования механизмов биологического действия электромагнитных полей.

Эффекты, связанные с энергетическими (в первую очередь, тепловыми) влияниями электромагнитных полей на биологические объекты, давно и подробно изучаются в традиционных разделах биофизики [1]. Для электромагнитобиологии, формирующейся как самоотоятельное научное направление, наибольший интерес представляют аспекты действия ЭМП, связанные не с мощностью воздействия и поглощенной энергией, а с сигнальными характеристиками, с той информацией, которая закодирована в соответствующих полях и излучениях и является значимой для биосистемы. Среди различных методов анализа биосистем (с учетом ЭМП) можно выделить три общих подхода: кибернетический, синергетический и квантовый.

Кибернетический подход лежит в основе изучения структуры и взаимосвязи подсистем. К нему относятся вопросы хранения, приема и передачи информации, алгоритмов ее переработки, определения поведения системы как функции от ее "входов" и состояния.

Общими кибернетическими требованиями [2] к биосистеме, способной перерабатывать информацию, являются наличие внутренних ресурсов, способных освобождать избыточную энергию под действием сигнала (неравновесность [3]); действие специализированной структуры, настроенной на прием определенного сигнала (рецептор); наличие специального механизма (усилитель), при помощи которого рецептор, воспринимая сигнал, высвобождает энергию, затрачиваемую на реакцию системы в форме работы исполнительного устройства (эффектора). Рецептор находится, вообще говоря, под влиянием множества неспецифических факторов различной физико-химической природы. Важным условием его эффективной работы является способность избирательно реагировать на сигналы именно той модальности, для восприятия которой данный рецептор предназначен [4].

Исследование механизмов биологического действия ЭМП, как и многих других физических факторов, заключается в изучении путей преобразования внешнего сигнала в реакцию живой системы. Ответная реакция биосистемы на слабый сигнал связана с биологическим усилением, во многом определяющим эффект биологического воздействия внешних факторов. В последние годы наметился некоторый прогресс в установлении конкретных механизмов биологического усиления, в частности в определении химических "посредников", несущих сигнал о событиях, совершающихся на поверхности клеточной мембраны, в цитоплазму [5].

Говоря о кибернетическом подходе в целом, следует подчеркнуть, что исследования по информационной емкости биосистем, количеству информа-

ции, содержащейся в сигналах, системам кодирования и передачи информации, пропускной способности и шумам оказались исключительно плодотворными. Так, применение кибренетического подхода к зрительной системе позволило поставить ее изучение на качественно новый уровень /6/.

В биологичеоких исследованиях наряду с количеством информации существенное значение имеет понятие ценности информации, эквивалентное инструктирующему, программирующему значению в реализации конкретного физического процесса /7/. Для действия ЭПМ, по-видимому, целесообразно определять ценность информации как приращение вероятности достижения эффекта, который может быть фиксирован, например, как реакция живого организма на внешнее воздействие.

Синергетичеокий подход связан с изучением характерных особенностей сиотем, далеких от состояния равновесия /8-10/. Значительную роль в его формировании сыграли фундаментальные работы И.Пригожина /8/ и Г.Хакена /9/ по открытым термодинамическим системам и по самоорганизации в существенно неравновесных системах. Такая самоорганизация определяется совместным кооперативным дейотвием большого числа подсистем.

В открытых системах, получающих из внешней среды отрицательную энтропию, без нарушения второго начала термодинамики могут образовываться и оществовать упорядоченные отруктуры. В физике, химии, биологии имеется множество примеров спонтанного возникновения в неупорядоченных системах пространственных и временных упорядоченных структур /9, 10/.

Принципиальной отороной вопроса является увеличение неравномерности в открытой системе. В противоположность релаксации к равновесному состоянию, где характерным является раопад корреляций, при определенном увеличении степени неравновесности в принципе могут возникать новые взаимосвязи, корреляции, упорядочение. Существенно также, что вдали от равновесия процессы описываются нелинейными уравнениями, псэтому оказывается возможным наличие нескольких стационарных решений, устойчивых по отношению к флуктуациям и малым возмущениям. При этом неравновесное состояние открытой системы, характеризующееся высокой степенью упорядоченнооти и устойчивостью по отношению к малым отклонениям, поддерживается притоком стрицательной энтропии в систему, компенсирующим выработку энтропии в самой системе.

Неравновесные структуры, которые могут перейти в состояние равновеия только в результате скачка (кинетического фазового перехода) называются диссипативными /8/. Диссипативные структуры существуют за счет процесссв, связанных о производством энтропии, и характеризуются рядом особенностей - возникновением качественного скачка, что связано с достижением параметрами критического порогового значения; существованием структуры в течение неограниченного времени при сохранении внешних условий; согласованным когерентным поведением подсистем; уменьшением энтропии в системе.

В условиях сильного отклонения от равновесия возникают качественно новые способы воздействия на систему, новые возможности управления.

Оказывается, что воздействия могут быть эффективными при весьма малых затратах энергии и во многих случаях носить характер спускового механизма. Могут осуществляться самые неожиданные на первый взгляд взаимосвязи (см. т. I, гл. П). Некоторые из таких уже четко установленных связей подвергались ранее резкой критике (например, связь процессов в биосфере с солнечной активностью [11, 12]).

Существование дополнительных способов управления для открытых систем в условиях сильного отклонения от равновесия хорошо иллюстрируется на простом примере квазиравновесных распределений заселенностей колебательных уровней молекул, рассматриваемых в газовой кинетике [13]. При этом внешние параметры играют роль "рулей", с помощью которых можно управлять заселенностями и зависящими от них процессами. Так, сравнительно небольшими изменениями температуры газа (при наличии существенно неравновесного количества энергии в колебательных степенях свободы) можно сильно влиять на функцию раопределения заселенности и соответственно на процесс диосоциации многоатомных молекул. Обычно диссоциация происходит при нагревании газа, в то время как в существенно неравновесных условиях заселенность верхних уровней растет и молекулы диссоциируют при охлаждении газа. В этом случае добавлением в газовую смесь, содержащую молекулы двух типов примеси, молекул определенного третьего типа также можно эффективно управлять заселенностями.

При анализе возможностей управляющего действия ЭМП синергетический подход играет принципиальную роль. Он включает уотановление характера неравновесности, анализ вопросов устойчивости по отношению к различным степеням свободы (модам), нахождение возможностей эффективного управления. Особую роль играют различные резонансные воздействия. Так, например, внешние электромагнитные воздействия частотами порядка 10^{-2}–5 Гц являются близкими к характерным чаототам биологических систем. Известно, что ЭМП этих частот и инфразвук обладают отчетливо выраженным биологическим действием (см. т. I, гл. П, п. I.I; т. 2, гл. I, п. 2.3; 2,4 [12]). Разумеется, имеются и другие возможности, не сводящиеся к резонансу.

Квантовый подход в отличие от кибернетического и синергетического не получил еще в биологии надлежащего развития. Однако в последнее время необходимоотъ учета квантовых закономерностей становится все более очевидной. Остановимся на этом подходе несколько детальней.

Можно выделить два направления поиска путей применения квантовомеханического подхода в биологии. Первое из них -непосредотвенное расширение сферы приложений квантовой механики. Так, современная органическая химия строится на основе квантовых представлений. Можно ожидать непосредственного иопользования их при рассмотрении биополимеров, а возможно и органелл (митохондрий, рибосом). В настоящее время выполнены квантовые расчеты электронной структуры важнейших классов биологичеоких молекул. Показана принципиальная роль сопряженных π-электрон-

ных систем в биохимических процессах, в частности для ряда низкомолекулярных соединений (коферментов), функционирующих во взаимодействии с белком [14]. (Отметим возможности делокализации электронов в биополимерах под действием ЭМП.) Существенное значение для исследования ряда биологических процессов (в частности, фотосинтеза) имеет квантовая химия координационных соединений. В целом, однако, современная квантовая биохимия ограничивается статистическими задачами и почти не рассматривает проблемы динамики [15].

Второе направление квантового подхода к биологии связано с определенным абстрагированием от чисто физических понятий. Естественным аппаратом в этом случае является формулировка квантовых закономерностей на основе комплексных цепей Маркова [16], тесно связанная с фейнмановским интегрированием по путям. При использовании данной формулировки нет нужды в поисках для биологических явлений аналогов чисто физических величин в отличие, например, от шредингеровского или гейзенберговского представлений.

Следует отметить, что для обычных (действительных) цепей Маркова имеется чрезвычайно широкая область приложений (например, физика, радиотехника, автоматика, экономика, социология, медицина, биология). Для действительных цепей условная вероятность осуществиться событию A_i в $(s+1)$-м испытании $P_{s+1}(A_i)$ зависит только от события в s-м испытании и не зависит от предыдущих. Поэтому полная вероятностная картина возможных изменений при переходе от испытания i к испытанию j задается матрицей перехода $P = \| p_{ij} \|$. Элементы матрицы перехода p_{ij} неотрицательны, сумма элементов каждой строки равна единице. Для достоверного события $p_{ij} = 1$.

В основе комплексных цепей Маркова лежит комплексная теория вероятностей, обобщающая известную аксиоматику А.А.Колмогорова на комплексные числа. Каждому случайному событию A из поля событий ставится в соответствие уже не действительное неотрицательное, а комплексное число $\Psi(A)$. Для достоверного события $|\Psi(A)|^2 = 1$. В этом плане переход к комплексным вероятностям является своего рода естественным обобщением понятия обычной вероятности.

Вместе с тем в понятии комплексных цепей Маркова в значительной мере уже заложены основные особенности квантовой механики [16]. Причем конкретные системы определяются заданием функции Лагранжа (или, в частности, для биосистем – матрицы перехода). Подчеркнем, что в комплексных цепях не конкретизируется величина, аналогичная постоянной Планка, она может быть любой.

В формулировке комплексных цепей Маркова квантовая механика может явиться действенным рабочим инструментом в биологии. Речь идет о построении обобщенных моделей марковских процессов, где учитывается комплексный характер вероятности, соответствующей природе явления. В таких моделях учитываются не только чисто стохастические свойства, опи-

сываемые, в частности, обычными цепями Маркова, но и внутренние корреляции, своего рода фазовые соотношения между объектами, описываемые комплексными цепями Маркова. Необходимость такого учета проявляется при рассмотрении работы нервной системы вообще и мозга в частности, построении поведенческих моделей животных, исследовании психических явлений и вопрооов формирования мнения коллектива людей.

Проиллюстрируем сказанное на примере работы мозга. Сущность работы мозга как сложной системы взаимосвязанных структур пытались понять на основе аналогии с электронно-вычислительной машиной. Сейчас уже ясно, что сходным является лишь ряд конечных результатов работы ЭВМ и мозга. Однако имеются и фундаментальные различия. Так, в отличие от двухпозиционного переключателя - элементарной структурной единицы ЭВМ, нейрон определенным образом суммирует воздействия на нескольких входах, определяя, должен ли он посылать импульсы, и подбирает выходной сигнал и его частоту (двухпозиционные свойства: да-нет относятся лишь к аксону). Огромное число контактов между различными нейронами позволяет считать мозг единой кооперативной системой. В отличие от ЭВМ каждая из функций мозга делокализована и система обладает большой функциональной гибкостью и уотойчивостью к различным повреждениям. В этом плане имеется прямая аналогия с голографической записью.

Действие современных ЭВМ, решающих чрезвычайно сложные задачи, разбивается на элементарные операции, с которыми может справиться весьма простое устройство - двухпозиционный переключатель с ответами да-нет (I-0). В основе этих элементарных операций лежит булева алгебра, формализовавшая обычную логику и определившая пути решения сложных задач. Этот процесо задается программой и в этом смысле однозначно определен.

В отличие от ЭВМ для работы мозга характерны как внутренняя стохастичность, так и наличие определенных корреляций. Простейшая возможность их отыскания должна основываться на теории комплексных марковских цепей, учитывающих возникающие в этом случае своего рода фазовые соотношения. С волновыми свойствами согласуется и голографический характер процессов в мозгу, и отмечавшаяся делокализация функций мозга. Не противоречат им структура и работа нейрона, связанного сразу с множеством других. Все это дает возможность определенной фазировки, создания определенного когерентного кооперативного состояния.

Хотя работа мозга характеризуется невероятной сложностью, в первом приближении, по-видимому, следует полагать, что его действие происходит по квантовым законам. Во всяком случае пока это простейшая из возможностей, которую следует проанализировать. Работа мозга делится на бессознательное, как основу, и сознательное, как своего рода выходное устройство. Сознательному соответствует обычная логика. Бессознательное, по-видимому, протекает по квантовым законам, квантовой логике. Однако последние не улавливаются сознанием. Возникающие в сознании мысли, картины, не есть адекватная передача работы мозга. При включе-

нии сознания возникает определенная стохастичность в выводах, решениях, подобная стохастичности при квантовомеханических измерениях.

В мозгу, как и в ЭВМ, сложные вычислительные и логические операции реализуются путем выполнения огромного числа очень простых. Каковы же элементы и логика квантовой ЭВМ? Простейшей квантовой системой является двухуровневая. Ее отличие от двухпозиционного переключателя заключается в дополнительном наличии фазы. В физике набор двухуровневых частиц (молекул) характеризуется известной моделью Дике [17]. В отличие от набора двухпозиционных переключателей, находящихся в состоянии 0 или I (аналог заселенности уровней), в квантовой системе дополнительно появляются когерентные характеристики. В модель Дике, например, вводится кооперативное число r, определяемое соотношением фаз отдельных молекул. Роль его весьма наглядно отображается формулой для интенсивности спонтанного излучения I системы N молекул:

$$I = I_0 \sum_{r,m} P_{r,m}(r+m)(r-m+1)\,;\; 0 < r < \frac{N}{2}\,;\; |m| \leq r\,, \qquad (1)$$

где I_0 – интенсивность излучения одной молекулы, m – разность заселенности уровней, $P_{r,m}$ – вероятность нахождения системы в состоянии с волновой функцией $\psi_{r,m}$. Как видно из формулы (1) при $r = N/2$, $m = 0$ система излучает пропорционально N^2, при $m = -r$ система не излучает вовсе. Принципиальным моментом для системы в целом является когерентная (волновая) природа взаимодействия между базисными элементами. Законы композиции базисных элементов при взаимодействии двухуровневых объектов описываются (аналогично обычной логике для ЭВМ) квантовыми законами, квантовой логикой. Законы композиции в сложной квантовой системе, состоящей из большого числа двухуровневых объектов, строятся на основе теоретико-группового подхода и задаются при помощи коэффициентов Клебша-Гордана [18].

Квантовый подход в проблеме воздействия ЭМП на биологические объекты должен включать в себя оба направления: как непосредственное приложение квантовой механики на уровне биополимеров и биохимических реакций, так и использование комплексных цепей Маркова. Подчеркнем, что рецепт применения комплексных цепей в биологии заключается в написании комплексной матрицы перехода, определяемой условиями конкретных задач (в случае обычных цепей Маркова, широко используемых в биологии, феноменологически строится действительная матрица перехода).

Рассмотренные выше кибернетический, синергетический и квантовый подходы являются междисциплинарными и опираются на результаты различных конкретных наук. Именно они задают направления исследований и служат определенными ориентирами в разработке биологических проблем и, в частности, проблемы взаимодействия ЭМП с живыми системами.

Перейдем к общей оценке роли ЭМП в жизнедеятельнооти организмов. Как отмечается в работе [19], факт существования очень слабого электромагнитного излучения – общепризнан и экоперимептально обнаружен у всех

исследованных клеток растений и животных. Анализ проведенных экспериментальных исследований указывает на информационную роль собственного излучения биологических объектов.

В ряде работ (в частности, [20-22]), где роль излучения рассматривалась со структурной точки зрения, выделяются следующие основные положения.

I. Поскольку все химические процессы синтеза или распада сопровождаются перестройками электронных сболочек молекул, субъединиц мембран и т.д., то неизбежно в процессах синтеза или распада происходит излучение или поглощение квантов ЭМП. Эти процессы могут составить определенный канал передачи информации между мембранными субъединицами, мембранами, клеточными органами, клетками, между ДНК и белками.

2. Поскольку электронные состояния сложных систем, в частности биологических, как правило, вырожденные, т.е. обладают разнообразными пространственными формами при одной и той же энергии, то даже очень слабые внешние ЭМП могут выделить одно из многих состояний и запустить в организме определенную цепь процессов синтеза или распада.

3. Возможно нарушение комплементарности, определяемое воздействием излучения на водородные связи, что также существенно для протекания процессов синтеза или распада.

4. Излучение может производить отбор из ряда имеющихся возможностей существования определенных неравновесных состояний. Этот процесс рассматривается как аналог динамической голографии.

5. Наличие коллективизированных π-электронных состояний в биомолекулах приводит к когерентному взаимодействию с излучением всей электронной системы. Характер излучения может также играть существенную роль в переходе электронной подсистемы в коллективное состояние.

Если взглянуть на проблему в целом, то совокупность имеющихся данных свидетельствуют о том, что, наряду с химической и электрической системами, являющимися неотъемлимыми проявлениями жизнедеятельности организма, существует третья информационно-управляющая система - система ЭМП. Некоторые свойства общей управляющей ЭМП - системы рассмотрены в разделе об излучениях биологической природы в т.I, гл.I, п.3.3

Итак, электромагнитное излучение, порожденное процесоами внутри живой клетки, является очень важной ее характеристикой. Любая живая система в определенных условиях может служить как излучателем, так и приемником излучения, т.е. активные процесоы обмена излучением могут протекать не только внутри, но и за пределами биологических объектов при незначительных энергетических затратах. Проведенное рассмотрение роли ЭМП в биосистемах указывает на сложный, многоплановый, многоаспектный характер проблемы.

Литература

I. Кудряшов Ю.Б., Исмаилов Э.Ш., Зубкова С.М. Биофизические основы действия микроволн. М.: Изд-во МГУ, 1980. 159 с.

2. Коган А.Б., Наумов Н.П., Режабек Б.Г., Горян О.Г. Биологическая кибернетика. М.: Высш. школа, 1977. 408 с.

3. Бауэр Э. Теоретическая биология. Л.: ВИЭМ, 1935. 205 с.

4. Винников А.Я. Цитологические и молекулярные основы рецепции. М.: Наука, 1971. 298 с.

5. Мецлер Д. Биохимия. М.: Мир, 1980. Т. 2. 606 с.

6. Глезер В.Д., Цуккерман И.И. Информация и зрение. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1961. 182 с.

7. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М.: Мир, 1973. 216 с.

8. Пригожин И.Р. Введение в термодинамику необратимых процессов. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 127 с.

9. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 404 с.

10. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. М.: Мир, 1979. 279 с.

11. Инфракрасное излучение в атмосфере Земли и в космосе. М.: Наука, 1978. 228 с. (Тр. ФИАН, т. 105).

12. Гордиец Б.Ф., Марков М.Н., Шелепин Л.А. Солнечная активность и Земля. М.: Знание, 1980. 84 с.

13. Гордиец Б.Ф., Осипов А.И., Шелепин Л.А. Кинетические процессы в газах и молекулярные лазеры. М.: Наука, 1980. 512 с.

14. Пюльман Б. Электронная биохимия. М.: Наука, 1966. 103 с.

15. Волькенштейн М.В. Молекулярная биофизика. М.: Наука, 1975. 616 с.

16. Маслов В.П. Комплексные марковские цепи и континуальный интеграл Фейнмана. М.: Наука, 1976. 192 с.

17. Dicke R.H. Coherence in Spontaneous Radiation Processes. - Phys. Rev., 1954, vol. 93, № 1, p. 99-110.

18. Теоретико-групповые методы в физике. М.: Наука, 1973. 272 с. (Тр. ФИАН, т. 70).

19. Казначеев В.П., Михайлова Л.П. Сверхслабые излучения в межклеточных взаимодействиях. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1981. 144 с.

20. Быховский В.К. Когерентность, память и измерение характеристик биосистем. - В кн.: Статистические свойства микрокультур. М., 1971, с. 10-13.

21. Быховский В.К. О передаче когерентности в электронную оболочку биологических макромолекул. - Биофизика, 1973, т. 18, с. 198-200.

22. Быховский В.К. Метастабильность решетки водородных связей и конформационная память нативных биологических молекул. - Биофизика, 1973, т. 18, с. 573-575.

I.2. О возможной природе электродинамических явлений в живых системах

Живые системы, как известно, являются открытыми гетерогенными системами, в которых большое значение имеют процессы переноса вещества через межфазные границы. Кинетика гетерогенных реакций, протекающих на поверхности раздела двух сред, определяется скоростью подвода и отвода реагирующих веществ.

В области межфазного слоя "проводящее твердое тело – жидкая (или газовая) среда" в приэлектродной области образуется слой объемного заряда толщиной δ и плотностью ς. Это явление изучается в различных областях знаний и известно как электродный эффект [1]. Толщина слоя объемного заряда определяется конкурирующими процессами – электрическим полем, приводящим к упорядоченному движению ионов разного знака в противоположных направлениях вдоль силовых линий, и тепловым, диффузионным, конвективным движениями ионов, нарушающими упорядоченную структуру слоя объемного заряда.

Для количественной оценки электродного эффекта вблизи поверхностей раздела двух сред рассмотрим случай, когда скорость движения ионов под влиянием электростатического поля напряженностью E значительно больше скорости v конвективного переноса частиц: $uE \gg v$. Если диффузионный член мал по сравнению с членом, содержащим направленную скорость переноса ионов, то выражение для плотности объемного заряда вблизи границ межфазной области "проводящее тело – воздух" имеет следующий вид [2]:

$$\varsigma_э(x) = en_{\pm}\tau\left\{\exp\left[-\frac{x}{\tau(uE-v)}\right] - \exp\left[\frac{x-6uE\tau}{\tau(uE+v)}\right]\right\},$$

где e – заряд электрона, $n_{\pm}$ число пар ионов, образующихся в единицу времени, τ – среднее время жизни ионов, x – расстояние от точки наблюдения до проводящей поверхности, u – средняя подвижность ионов.

В условиях естественной или вынужденной конвекции в водных электролитах возникает диффузионный слой толщиной $\delta_q = 10^{-1} - 10^{-3}$ см, в котором происходит перепад концентраций n вещества [3]:

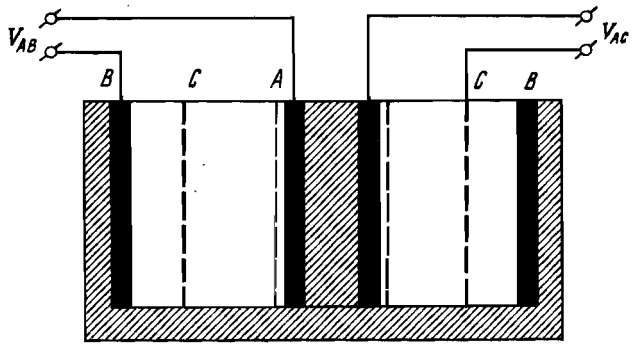
$$\varsigma(x) = \frac{\varepsilon}{2\pi}\cdot\frac{D_1 - D_2}{z_1 D_1 + z_2 D_2}\cdot\frac{RT}{F}\Delta\ln n,$$

где ε – диэлектрическая постоянная воды, R – постоянная Менделеева-Клайперона, T – абсолютная температура, F – число Фарадея, z_i, D_i – числа элементарных зарядов и коэффициенты диффузии катионов ($i = 1$) и анионов ($i = 2$).

При наложении переменного напряжения с заданной частотой на область межфазной границы возникают колебания электродного слоя под действием массовой силы плотностью

$$f_{эq} = \varsigma(t)E(t).$$

Под действием переменного напряжения упорядоченное распределение ионов в приэлектродном слое может нарушиться, что приведет к изменению скорости гетерогенной реакции.



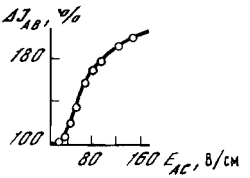
Р и с. 27. Эскиз электрохимической ячейки для исследования динамики приэлектродного слоя под действием НЧ ЭМП

А - центральный цилиндрический электрод, В - внешний цилиндрический электрод, С - электрод-сетка с шагом ячеек 0,5 · 0,5 мм^2, V_{AB} - постоянное напряжение, приложенное к электордам А и В, V_{AC} - переменное напряжение, приложенное к центральному электроду А и к электроду-сетке С

Задача настоящей работы - экспериментальная проверка влияния внешнего низкочастотного электрического поля на электродный эффект в электролитах и определение возможной роли пространственного распределения зарядов в механизме действия внешнего ЭМП на элементы живых оистем.

Моделирование эффекта дейотвия НЧ ЭП на распределение зарядов в электродном слое было проведено в электрохимической ячейке с водным раствором электролита (0,0Iн $CuSO_4$), где размещались три коакоиальных цилиндрических медных электрода, два из которых (А и В) были сплошными, третий (С) - сетчатый (рис. 27). Для определения толщины электродного слся, изменяющегося под действием НЧ ЭП, на электроды А и В от источника УИП-2 подавалось постоянное напряжение V_{AB}, а на сетчатый электрод С и электрод А - переменное напряжение о частотой f_0 = I-2·I0^4 Гц от звуковых генераторов ГЗ-33 и ГЗ-47. Величины постоянных напряжений V_{AB} варьировались от 0 до 5 В, переменных V_{AC} - от 0 до I00 В. Расстояние между электродами менялось от 0,I до 4 см, напряженность E_{AB} постоянного ЭП изменялась в пределах от 0 до I,25 В/см, переменного E_{AC} - от I0 до I0^3 В/см.

Экоперимептальные исследования динамики приэлектродного слоя объемного заряда показали (рис 28,29), что с увеличением напряженности переменного поля E_{AC} ток I_{AB} в рабочем объеме цилиндрического конденсатора увеличивается (рис. 28). Соответственно увеличивается при условии $E_{AC} \geq$ 20 В/см и приращение тока. При снятии переменного напряжения ток I_{AB} восстанавливается за время релаксации $\tau_p = \frac{\delta^2}{D_i} \sim$ 5-I0 с до исходных значений.



Р и с. 28. Эффект увеличения тока насыщения ΔI_{AB} в зависимости от напряженности электрического поля E_{AC} для 0,0Iн $CuSO_4$ χ_{AC} = I см; f_0 = 50 Гц

Полученные результаты свидетельствуют о том, что приэлектродный слой в области диффузионной кинетики объемного заряда несет функцию электрического барьера. Под действием переменного электрического поля упорядоченное распределение ионов в электродном слое нарушается, что приводит к увеличению скорости гетерогенной реакции. Разрушение слоя объемного заряда под действием переменного напряжения 50 Гц носит колебательный затухающий характер с частотой 5-6 Гц (рис. 29).

Перейдем к обсуждению природы объемных зарядов в живых системах и их возможной функциональной значимости.

Диффузионный и электрический перенос веществ в окрестности мембран предполагает существование вблизи клетки и активно функционирующих ее органелл объемных зарядов. Наличие в живых системах как низкомолекулярных, так и высокомолекулярных ионов с различными коэффициентами диффузии приводит к тому, что электродный слой не только выполняет функции электрического барьера, но и обусловливает особые структурные характеристики среды, а также различия времен релаксации при действии внешних физических факторов.

Условия возникновения объемных зарядов в биологических системах обусловлены высокими значениями вязкости среды и потенциала на мембранах, различиями в коэффициентах диффузии ионов за счет наличия высокомолекулярной компоненты. В связи с этим следует ожидать более высокой плотности объемных зарядов в живых системах, большей величины потенциального барьера для переноса ионов и большего различия во временах релаксации по сравнению с модельными системами.

Типичным примером областей локализации объемных зарядов могут служить кровеносные капилляры, где гидродинамические условия движения потока плазмы по обе стороны эндотелиальных клеток существенно различны [4-6].

До настоящего времени электрические поля, возникающие при движении эритроцитов, при рассмотрении процессов транскапиллярного обмена не учитывались. Считалось, что основной эффект транспорта низкомолекулярных ионов в плазме обусловлен лишь разностью давлений в капилляре и вне его [7]. Между тем кровеносные капилляры, в которых движутся заряженные эритроциты - типичный пример морфологического образования, где поведение объемных зарядов должно существенно сказаться на жизнедеятельности живых систем.

Схематическое изображение кровеносного капилляра с системой межкле-

Р и с. 29. Осциллограмма записи тока I_{AB} в постоянном поле E_{AB} (горизонтальная прямая) и при наложении на призлектродную область переменного напряжения V_{AC} (периодически изменяющаяся кривая)

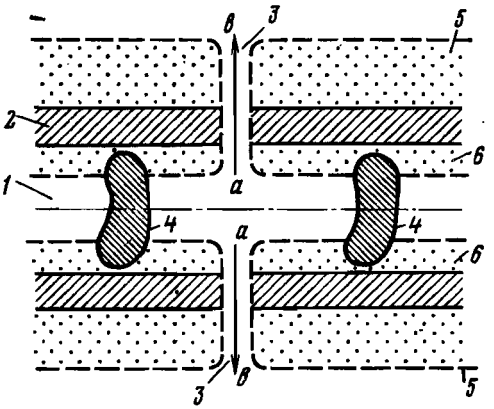
точных щелей шириной $a_{щ}$ и специфической структурой выстилающих эндотелиальных клеток приведено на рис. 30. Возникающие вблизи поверхности клетки объемные заряды, в отсутствие потока плазмы примерно равные по величине, обусловливают близкие значения потенциалов по обе стороны эндотелиальной клетки. При механическом перемещении "цепочки" эритроцитов вдоль внутренней поверхности стенки трансэндотелиальной клетки происходит "срыв" слоя объемного заряда. После прохождения эритроцита возможно частичное или полное его восстановление, что приводит к возникновению в межклеточной щели (a_{ℓ}, рис. 30) импульса напряжения и соответственно переменного электрического поля $E_{a\ell}(t)$. Частота возникновения разности потенциалов $\Delta V_{a\ell}$ определяется концентрацией эритроцитов, скоростью потока плазмы, что зависит от давления крови и от состояния эндотелиальных клеток. Каждый капилляр имеет ограниченную длину ($\ell \sim$ 10÷100 мкм), поэтому частота изменения $V_{a\ell}$ зависит от числа межклеточных щелей и от концентрации эритроцитов в крови.

Для физиологических условий при нормальном функционировании капилляров (радиусами 7÷10 мкм) должны возникать электрические поля $E_{a\ell}(t)$ импульсного характера. Так, при $V_{ав}$=50мВ, $a_{щ}=3\cdot10^{-4}$см $E_{ав}$ – 200 В/см. За время прохождения под щелью эритроцита со скоростью v_0 =0,1 – 2мм/с генерируется электрический импульс длительностью t_0 = 2,5 – 5 мс.

Частота f_0 следования импульсов при расстоянии l_0 = 5 мкм между центрами эритроцитов в интервале скоростей v_0 = 0,1 – 2 мм/с $f_0=v_0/l_0=$ = 20 – 400 Гц. С ростом l_0 при неизменной скорости движения эритроцитов частота f_0 падает. Так как условия разрушения и восстановления объемного заряда зависят от скорости перемещения эритроцитов, то возникающее электрическое поле является функцией v_0.

Таким образом, при движении заряженного эритроцита в капилляре могут возникать переменные электрические поля напряженностью до 200 В/см, частотой 20 – 400 Гц и длительностью до 50 мс.

Так как площадь внутренних поверхностей в капиллярах очень велика



Р и с. 30. Возникновение трансэндотелиальных электрических полей при движении эритроцитов в кровеносном капилляре радиуса R

1 – просвет капилляра; 2 – эндотелиальные клетки; 3 – межклеточные щели; 4 – эритроцит; 5 и 6 – объемные заряды

(2500–3000 ом^2) [7], а скорости движения эритроцитов изменяются в 10–100 раз, то в живых системах генерируются электрические поля низкой частоты, что должно оказывать влияние на окружающие ткани, на процессы переноса плазмы и в конечном счете – на метаболизм.

На основе изложенного механизма возникновения ИНЧ ЭП можно объяснить зависимость процессов переноса плазмы через стенки кровеносных капилляров от концентрации эритроцитов в крови, их поверхностного электрического заряда, заряда эндотелиальной стенки и ее функционального состояния [8].

Рассмотрим возможную роль объемных зарядов в механизме действия НЧ ЭМП на живые системы. Как отмечалось ранее [6, 9], возникающие массовые объемные силы магнитогидродинамической и электрогидродинамической природы могут обусловить частичное или полное разрушение объемных зарядов в зависимости от амплитуды, частоты и длительности воздействия НЧ ЭМП.

С точки зрения биологической значимости воздействие ЭМП на капилляры эквивалентно снижению межклеточного потенциала, повышению проницаемости стенок капилляра, что при длительном воздействии может вести к отекам тканей. Можно ожидать, что чем выше потенциал мембраны и ниже ее проницаемость в отсутствие возбуждения, тем выше плотность и протяженность объемного заряда вне клетки. В то же время при меньшем мембранном потенциале и большей проницаемости клетки можно ожидать меньшей величины окружающего клетку объемного заряда. С этой точки зрения находят объяснение экспериментальные результаты [10], полученные на животных (крысы с привитыми опухолями), помещенных в НЧ МП (f_0 = 9,2 кГц). Известно, что мембранный потенциал опухолевых клеток ниже, а проницаемость выше аналогичных нормальных.

Вследствие больших значений индуцированных ЭП особенно эффективными для воздействия на живые системы являются импульсные ЭМП с большой крутизной фронтов и низкой скважностью. При этом, вероятно, следует использовать длительность импульса воздействия порядка десятков и даже со-

тен миллисекунд. Это подтверждается экспериментальными данными по воздействию ИНЧ МП на различные биологические объекты, в том числе и на человека [II, I2]. Следовательно, НЧ ЭМП обладают бо́льшей биологической активностью, чем постоянные МП.

Итак, при наложении НЧ ЭМП на изолированную клетку, мембрана которой несет высокий потенциал, возникающее индуцированное переменное электрическое поле должно приводить к разрушению объемных зарядов в межфазной области. Вследствие этого увеличится приток ионов к клетке со знаком заряда, противоположным знаку потенциала на мембране. Изменение концентрации ионов, проникающих через мембрану под действием ЭМП, можно интерпретировать как увеличение "эффективной проницаемости" мембраны клетки. Этот факт хорошо согласуется с известными экспериментальными данными и может рассматриваться как основа для построения одного из механизмов действия ЭМП. Вместе с тем открывается возможность управления метаболическими процессами в живых системах, что может найти применение в медицинской практике. Эффект возникновения слоя объемного заряда наиболее ярко выражен, когда клетки окружены биологическими жидкостями. В случае, если расстояние между клетками меньше толщины слоя объемного заряда, то электродный слой образуется вокруг совокупности как единого целого. Поскольку внутри совокупности клеток электродный слой отсутствует, то действие ЭМП на них менее эффективно.

Таким образом, силы электрогидродинамической природы в определенных ситуациях оказывают влияние на одну из наиболее чувствительных областей биологических систем – на объемный заряд, в частности на объемный заряд в примембранной области. Существенное значение в процессах взаимодействия внешних ЭМП с биообъектами имеют собственные электрические и магнитные поля живых систем, диэлектрические свойства их внутренней среды и ряд других факторов.

Литература

I. Красногорская Н.В. Об электродном эффекте. – Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, I967, № 9, с. I0I8 – I022.

2. Красногорская Н.В. Электричество нижних слоев атмосферы и методы его измерения. Л.: Гидрометеоиздат, I972. 323 с.

3. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Физматгиз, I959, 700 с.

4. Комаров Г.П. Перенос воды и растворенных в ней веществ через стенки биологических капилляров: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л.: Мед. ин-т им. акад. И.П.Павлова. I973. I6с.

5. Гак Е.З., Комаров Г.П., Гак М.З. Магнитодинамические и электрогидродинамические эффекты в механизмах действия магнитных полей на биологические объекты. – В кн.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, I978, с. 26–38.

6. Гак Е.З., Гак М.З., Ерошенко И.М. О природе электрической активности функционирующих кровеносных сосудов. – В кн.: Физиологические

механизмы адаптации у животных и растений. Томск: Том. ун-т, 1979, с. 3 - 9.
7. Гуревич М.И., Берштейн С.А. Основы гемодинамики. Киев: Наукова думка, 1979. 230 с.
8. Чижевский А.Л. Электрические и магнитные свойства эритроцитов. Киев: Наукова думка, 1973. 94 с.
9. Гак Е.З., Комаров Г.П. О роли МГД и ЭГД-эффектов в механизме биологического действия низкочастотных МП. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия ЭМП и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т. I, с. 153-167.
10. Жгенти Т.Г., Гак Е.З., Комаров Г.П. и др. О биологической активности магнитных полей звукового диапазона. - Электрон. обраб. материалов, 1972, вып. 6, с. 71-73.
11. Adey W.R. Frequency and power windowing in tissue interraetions with weak electromagnetic fields. - Proc. IFEEE, 1980, vol. 68, № 1, p. 140-148.
12. Берлин Ю.В., Бувин Г.М., Белькевич В.И. и др. Некоторые особенности действия импульсных магнитных полей на электропроводные жидкости и биологические системы. - В кн.: Реакции биологических систем на МП. М.: Наука, 1978, с. 39-48.

I.3. О возможной роли асимметрии биологических структур в реализации эффектов регуляторного характера

Принадлежность к определенной группе симметрии [1] может служить одним из наиболее общих классификационных признаков, позволяющих максимально абстрагироваться от частных свойств изучаемых объектов. В этом смысле одна из наиболее общих особенностей всех без исключения живых организмов заключается в том, что на молекулярном уровне их основные структуры асимметричны [2], т.е. существуют в одной из двух возможных зеркально симметричных форм - "левой" (L) или "правой" (D).[I] А именно, все белки построены из одних и тех же L-аминокислот, а все полисахариды - из D-углеводов; те же D-углеводы принимают участие в построении нуклеиновых кислот. В результате структуры второго и высших

[I] Строго говоря, в данном случае вместо термина "асимметрия" уместнее было бы употреблять термин "хиральность" (от греч. χείρ - "рука"; ср. англ. handedness - "ручность"), обозначающий невозможность совместить фигуру с ее зеркальным отражением путем простых перемещений и вращений в трехмерном пространстве [3]. Все асимметричные фигуры хиральны, но не все хиральные фигуры асимметричны: например, морская звезда с пятью загнутыми в одну сторону лучами хиральна, но не асимметрична, т.к. имеет ось симметрии пятого порядка

порядков, свойственные биополимерам в нативном, рабочем состоянии, тоже характеризуются асимметрией; первичная молекулярная асимметрия проявляется в строении различных биомолекулярных комплексов и клеточных органелл и, наконец, иногда сказывается на организменном уровне (например, люди в подавляющем большинстве - "правши").

Молекулярная асимметрия была открыта Л.Пастером в 1860 г. и сразу же вызвала споры, которые окончательно не утихли до сих пор. Предметом этих споров послужили две проблемы:

1. Как возникла в живой природе молекулярная асимметрия?

2. Какое биологическое значение она имеет?

Дело в том, что сами по себе L- и D-формы органических молекул (т.н. энантиомеры) совершенно равноценны по своим физическим и химическим свойствам и различаются только знаком вращения плоскости поляризации света. Поэтому в ходе обычных химических реакций всегда образуется смесь строго равных количеств L- и D-форм (т.н. рацемат). Только такая смесь термодинамически равновесна, и в изолированной системе возникновение избытка одного из энантиомеров может быть лишь чисто случайным явлением, причем с совершенно равной вероятностью флуктуация может привести к образованию избытка и другого энантиомера; естественно также, что в изолированной системе избыток одного из энантиомеров должен рано или поздно самопроизвольно исчезнуть. Но коль скоро жизнь возникла в результате чисто химической эволюции вещества, то каким образом произошло первичное нарушение симметрии, почему это нарушение со временем не исчезло, а наоборот, развилось, и в результате чего повсеместно на Земле было отдано предпочтение одним и тем же зеркальным изомерам молекул? И какова причина того, что жизнь не смогла использовать для своих целей имевшийся в начале эволюции рацемический материал?

Ответ на последний вопрос представляется в настоящее время достаточно однозначным: система, состоящая из чистых зеркальных изомеров, имеет заметные кинетические преимущества перед системой, построенной на основе рацематов, и поэтому должна была победить в ходе биохимической эволюции. Но система, построенная из "левых" форм молекул, должна быть, согласно общепринятым представлениям, совершенно идентична системе, построенной на основе "правых" форм тех же молекул; как же так случилось, что в ходе эволюции победил один из двух совершенно равных противников? Такой результат можно было бы объяснить флуктуацией, случайностью лишь при условии, что все многообразие современных форм жизни явилось результатом единичного "акта творения"; но коль скоро мы признаем, что зарождение жизни было закономерным процессом, способным разновременно протекать в многочисленных локализованных участках протобиосферы, проблема возникновения молекулярной асимметрии вновь становится неразрешимой.

Еще сам Пастер обратил внимание на то обстоятельство, что отделить "правые" формы от "левых" можно только с помощью какого-то внешнего

критерия "правизны-левизны". Так, человек может отделять "правые" кристаллы от "левых", поскольку сам располагает представлением об асимметрии (мы не можем надеть левую перчатку на правую руку); асимметричны в своей основе микроорганизмы, которые избирательно усваивают лишь определенные зеркальные изомеры питательных веществ; разделения зеркальных изомеров можно добиться, используя вспомогательные вещества природного происхождения - например, алкалоиды, молекулы которых асимметричны. Эти принципы разделения энантиомеров, предложенные Пастером, навели его на мысль, что в возникновении молекулярной асимметрии в живой природе должны быть повинны какие-то асимметричные силы космического происхождения - по его мнению, электрические и магнитные поля [4].

Однако делавшиеся в конце прошлого века попытки отождествить внеземные источники воздействия на вещество с божественной "жизненной силой" сильно дискредитировали первоначальную идею Пастера, и основные исследования были направлены на поиски более тривиальных агентов, способных в условиях чисто химического эксперимента приводить к образованию избытка одного из зеркальных изомеров - например, в результате каталитического синтеза на поверхности оптически активного кварца, фотохимического синтеза под действием циркулярно поляризованного света и т.д. [5]. Однако поскольку такой "абсолютный" асимметрический синтез идет, как правило, лишь в специальных условиях и приводит к накоплению лишь ничтожных избытков зеркальных изомеров, в конце концов утвердилась точка зрения, согласно которой образование избытка одних из двух возможных зеркально симметричных форм биологически важных молекул было все же делом чистого случая [6], несмотря на отмеченную выше слабость такой гипотезы. Вместе с тем, объясняя механизм распространения первично возникшей асимметрии, современные авторы совершенно справедливо подчеркивают, что этот процесс может быть понят лишь с позиций неравновесной, необратимой термодинамики, поскольку все биологические события происходят не в изолированных, а в открытых системах и связаны с обменом веществом и энергией с внешней средой.

В последнее время стали делаться попытки объяснить возникновение молекулярной асимметрии в живой природе не случайностью, а закономерностью, что, казалось бы, однозначно решает все парадоксальные проблемы. А именно, высказываются предположения, что вклад не сохраняющих четность нейтральных токов в электромагнитные взаимодействия может приводить к расщеплению энергетических состояний энантиомеров [7], то есть к их превращению в подлинно различные (т.н. диастереомерные) вещества; как бы ни было мало подобное различие, за миллионы лет эволюции оно, в принципе, могло привести к "отбраковке" энергетически невыгодных форм молекул. Но хотя такая точка зрения и кажется привлекательной, она тоже таит в себе скрытый парадокс: в этом случае получается, что стационарное нарушение зеркальной симметрии может происходить в термодинамически изолированной системе. В связи с этим представляется

совершенно обоснованным мнение /8/, что решение проблемы возникновения молекулярной асимметрии в живой природе связано с решением фундаментальных проблем современной физики.

Все указанные выше явные и скрытые противоречия полностью снимаются, если вновь обратиться к первоначальной гипотезе Пастера о внеземном происхождении агента, ответственного за возникновение молекулярной асимметрии в живой природе; при этом, конечно, возникает ряд новых серьезных вопросов, однако ответы на них могут носить уже конструктивный характер. Например, такой подход дает возможность по-новому взглянуть на функциональную роль асимметрии биологических структур.

Универсальный регуляторный механизм, свойственный всем живым организмам, заключается в управлении биологическими функциями биополимеров путем воздействия на их конформацию - пространственную укладку макромолекулярной цепи. Причем в реализации этого механизма значительную роль играет стереоспецифичность взаимодействий, то есть пространственное соответствие конфигураций взаимодействующих молекул.

Так, фермент способен катализировать лишь превращения определенных зеркальных изомеров и совершенно неактивен по отношению к их зеркальным двойникам. Вместе с тем малейшее нарушение конформации фермента (происходящее, например, при взаимодействии с метаболитом-регулятором) проявляется в резком изменении его каталитической активности; такой регуляторный механизм, называемый аллостерическим, позволяет автоматически согласовывать между собой скорости многочисленных биохимических превращений. Естественно, что любое внешнее воздействие на конформацию биополимера тоже должно проявляться в изменении уровня метаболизма.

Как было показано ранее /9/, такое воздействие на конформацию и функцию биополимеров могут, в принципе, оказывать асимметричные электромагнитные поля, способные индуцировать асимметрический синтез. Дело в том, что асимметрическому синтезу предшествует асимметричное искажение геометрии реагирующих молекул; если же, как в случае биополимеров, асимметричные звенья образуют длинную цепь (например, молекулы ферментов состоят из сотен, а молекулы нуклеиновых кислот - из миллионов асимметричных звеньев), то малые искажения каждого звена должны привести уже к значительному искажению геометрии всей макромолекулы, то есть к изменению ее конформации и, как следствие, функции. Такой регуляторный механизм предложено называть экзостерическим; грубые оценки показывают, что благодаря такому механизму биоэффективными могут быть даже очень слабые асимметричные электромагнитные поля.

Если асимметричные (хиральные) поля космофизического происхождения действительно способны оказывать влияние на уровень метаболизма живых существ по универоальной схеме "конформация-функция", то асимметрия (хиральность) биологических структур может предоставлять живым организмам не только кинетические преимущества в сравнении с организмами, построенными на рацемической, симметричной основе, но и преимущества, обусловленные возникновением особого универсального канала связи с

внешней средой - канала, которого была бы лишена симметричная жизнь. Такой канал может выполнять важнейшую общебиологическую роль - с его помощью возможна синхронизация процессов, происходящих в разных независимых частях биосферы, с ритмическими процессами, протекающими в ближайшем космическом окружении Земли и способными порой оказывать существенное влияние на условия обитания организмов.

Вместе с тем, если асимметричные (хиральные) поля космофизического происхождения способны нарушать зеркальную симметрию вещества, то именно они, согласно Пастеру, могли служить причиной закономерного возникновения молекулярной асимметрии в ходе первичной биохимической эволюции; на более же поздних стадиях эволюции нарушение зеркальной симметрии под действием космофизического агента могло привести к установлению полной неравноценности "правых" и "левых" форм жизни. Естественно, что в этом случае не возникает никаких термодинамических парадоксов, поскольку биосфера признается полностью открытой системой; причина же происхождения асимметрии самого космофизического агента ("фактора Пастера") выносится за рамки данной конкретной проблемы и не рассматривается.

Какой может быть физическая природа асимметричного (хирального) "фактора Пастера"? Если следовать известному принципу - не вводить новые сущности сверх необходимых, - то разумнее всего исходить из предположения, что космофизическое поле, послужившее причиной возникновения молекулярной асимметрии в живой природе и выполняющее ныне регуляторную функцию в объеме всей биосферы, тесно связано с электромагнитными явлениями, поскольку в основе всех биохимических и биофизических процессов лежат именно электромагнитные взаимодействия; вместе с тем это поле [10] должно обладать некоторыми не вполне обычными особенностями. А именно, многочисленные (хотя и далеко не всегда строгие) наблюдения позволяют предполагать, что биоэффективный космофизический фактор слабо поддается экранировке; иногда заметно опережает обычные возмущения межпланетной среды; не всегда вызывает однозначную реакцию живых организмов, лишь косвенно регистрируется известными физическими методами.

Очевидно, что циркулярно поляризованное электромагнитное излучение может быть биоэффективным лишь в ограниченной области резонансных частот (например, электронных, колебательных или вращательных переходов), причем возможность действия на вещество инфранизкочастотных электромагнитных волн малой интенсивности вообще представляется сомнительной; кроме того, такое излучение избирательно поглощается различными природными средами (воздухом, водой, горными породами), и поэтому не может оказывать на биосферу постоянного универсального действия.

В принципе, биоэффективной может быть хиральная комбинация статических или квазистатичеоких электрического и магнитного полей при условии, что полярный вектор E параллелен аксиальному вектору H (здесь и далее

применение термина "хиральность", вообще говоря, обязательно, т.к. эта комбинация полей имеет ось симметрии бесконечного порядка, совпадающую с направлением векторов E и H). Однако хотя в природе такие поля действительно существуют совместно и могут иметь необходимую хиральную ориентацию, этот фактор тоже едва ли может претендовать на универсальность - статические электрическое и магнитное поля довольно легко (причем, по-разному) экранируются; к тому же, статичеокое электрическое поле должно вызывать, прежде всего, поляризацию молекул воды, составляющих главную часть внутриклеточной среды.

Остается рассмотреть лишь статический или квазистатический хиральный вектор-потенциал $\bar{A}$ ($rot\ \bar{A} = \bar{H}$), образованный двумя ортогонально ориентированными круговыми токами - тороидальным и полоидальным. Согласно гипотезе, получающей в последнее время серьезные экспериментальные подтверждения, плазма солнечного ветра образует тороидальные огустки ("плазменные коаксиалы") с замкнутыми магнитными полями стеллараторного типа [11]; такие отруктурные образования (диаметром около 10^{11}-10^{12} см) должны нести с собой, помимо магнитного поля, создаваемого тороидальным током, хиральный вектор-потенциал, образованный комбинацией тороидального и полоидального токов. Очевидно, что хиральный вектор-потенциал перемещается в космичеоком пространстве со скоростью солнечного ветра ($\sim$400 км/с), но несколько опережает его;исходя из типичных размеров "плазменных коаксиалов" и их средней скорости, это опережение можно оценить величиной порядка 12 час.

Подобный эффект действительно наблюдался, например, при регистрации ионизирующей компоненты космических лучей с помощью сцинтиляционного супертелескопа ИЗМИРАН [12]; при этом были замечены статистически значимые флуктуации с периодами 5-6, 12-15, 17-20, 40-60, 155-190 и 400-430 мин. Близкие периоды замечены также в радиальных пульсациях солнечной поверхности [13], долгопериодических колебаниях Земли [14], внутренних волнах верхней атмосферы [15], микропульсациях геомагнитного поля [16], периодических биологических процессах [17].

Все эти поразительные совпадения слишком многочисленны для того, чтобы их можно было считать чисто случайными, а не вызванными какой-то общей внешней причиной, например действием на вещество какого-то не вполне обычного космофизического агента, связанного о проявлениями солнечной активнооти. В литературе уже имеются попытки объяснить вектор-потенциал ответственным за наблюдаемые связи Солнце - биосфера ([18], см. также т. I, гл. IУ, п. 2), а также за более экзотические феномены [19].

Одним словом, общая ситуация такова, что ряд не вполне обычных явлений, скорее всего, действительно существует; что все эти явления вызываются, вероятно, одной и той же космофизической причиной; что действие космофизического агента на вещество носит достаточно универсальный и, значит, фундаментальный характер; что свойства этого агента не

вполне обычны, но не должны, видимо, выходить за рамки электромагнетизма. Причем единственный еще практически не изученный экспериментально фактор электромагнитной природы – это вектор-потенциал и, в частности, вектор-потенциал, имеющий хиральную конфигурацию.

Что качественно нового может дать в этом случае хиральноть? Как известно, все взаимодействия между атомами определяются состоянием их электронных оболочек, которое изменяется, когда атом входит в состав асимметричной (хиральной) молекулы. Например, вращение плоскости поляризации света происходит в результате того, что электрон, участвующий в оптических переходах и находящийся в асимметричном (хиральном) окружении, по-разному взаимодействует с левой и правой циркулярно поляризованными электромагнитными волнами; неравноценность валентных электронов, находящихся в различном асимметричном окружении, делает возможным асимметрический синтез. Таким образом, вопрос можно поставить так: способен ли хиральный вектор-потенциал оказывать на вещество диссимметризующее действие, способен ли он стереоспецифично влиять на свойства электронных оболочек атомов, входящих в состав различных асимметричных (хиральных) структур? Весьма сомнительно, чтобы ответ на этот вопрос был категорически отрицательным. В связи с этим представляется целесообразной постановка различных опытов с целью обнаружить возможное диссимметризующее и регуляторное действие хирального вектор-потенциала.

Если хиральный вектор-потенциал действительно окажется способным нарушать зеркальную симметрию вещества и оказывать биорегуляторное действие по экзостерическому механизму, обеспечивая тем самым наблюдаемые связи Солнце – биосфера (и, соответственно, отвечать за возникновение молекулярной асимметрии в живой природе), то возникает неожиданный, хотя и естественный вопрос: а не может ли такой биоэффективный агент генерироваться и самими биологическими структурами?

Ответ на этот вопрос тоже не представляется заведомо отрицательным. Исходя из общих соображений симметрии, можно предположить, что асимметричные (хиральные) диамагнитные органические молекулы должны порождать вокруг себя ненулевой хиральный вектор-потенциал; вместе с тем в асимметричных макромолекулярных структурах типа спиралей вектор-потенциалы отдельных звеньев могут не компенсироваться, а суммироваться; в этом случае суммарный вектор-потенциал, не обнаруживаемый обычными физическими методами, может оказывать регуляторное действие (по тому же экзостерическому механизму) на другие биологические системы. То есть асимметрия биологических структур может, в принципе, выполнять еще одну функцию – способствовать возникновению особого канала связи как между различными системами одного организма, так и между отдельными особями одной популяции.

Таким образом, асимметрию биологических структур следует считать не странной игрой природы, а, скорее всего, неотъемлемым и притом важнейшим свойством всего живого.

Литература

I. Желудев И.С. Симметрия и ее приложения. М.: Атомиздат, 1976.

2. Гаузе Г.Ф. Асимметрия протоплазмы. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940.

3. Соколов В.И. Введение в теоретическую отереохимию. М.: Наука, 1979.

4. Pasteur L. Recherches sur la dissymétrie moléculaire des produits organiques natureles. (Leçons professées à la Société chimique de Paris le 20 janvier et le 3 février 1860). Ouevres. – Paris, 1922, т. 1, p. 341.

5. Морриоон Дж., Мошер Г. Асимметричеокие органические реакции. М.: Мир, 1973. 508 с.

6. Мерозов Л.Л. Несохраняющаяся четность в молекулярном мире организмов. – Природа, 1977, № 1, с. 32-45.

7. Letokhov V.S. On difference of energy levels of left and right molecules due to weak interactions. – Phys.Lett., 1975, vol. 53A, № 4, p. 275-276.

8. Кизель В.А. Оптическая активность и диосимметрия живых систем. – УФН, 1980, т. 131, вып. 2, с. 209-238.

9. Квирблис В.Е. О возможном механизме связей Солнце – биосфера. – В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982,т . 43, с. 197-211.

10. Квирблис В.Е. Асимметрия против хаоса, или что такое биополе.-Химия и жизнь, 1980, № 12, с. 81-87.

11. Могилевский Э.И. Гипотеза о корпускулярных солнечных потоках с бессиловыми магнитными полями. – Геомагнетизм и аэрономия, 1962, т. 2, № 1, с. 48-55.

12. Либин И.Я., Гулинский О.В. Флуктуационные явления в космичеоких лучах по данным многонаправленного сцинтилляционного супертелескопа. Препринт ИЗМИРАН № 30 (258). М., 1979. 26 с.

13. Scherrer P.H., Wilcox J.M., Kotov V.A., Severny A.B., Tsap T.T. Observations of Solar Oscillations with Periods of 160 Minutes- – Nature. 1979, vol. 277, № 5698, p. 635-637.

14. Линьков Е.М., Петрова Л.Н., Савина Н.Г., Яновская Т.Б. Сверхдлинно-периодные колебания Земли. – ДАН СССР, 1982, т. 262, № 2, с. 321-324.

15. Гальпер А.М., Лейков Н.Г., Лучков Б.И. Гамма-излучение и волны плавучести в атмосфере. – Природа, 1981, № 6, с. 14-21.

16. Гульельми А.В., Владимирский Б.М., Репин В.Н. О геоэффективности колебаний поверхности Солнца. – Геомагнетизм и аэрономия, 1977, т. 17, № 5, с. 930-932.

17. Brodsky W.Ya. Protein Synthesis Rhythm. – J. Theor. Biol., 1975, vol. 55. № 1, p. 167-200.

18. Труханов К.А. О возможной роли эффекта Ааронова-Бома в биологическом дейотвии магнитного поля. – Космич. биология и авиакосмич. медицина, 1978, № 3, с. 82-83.

I9.Авраменко Р.Ф., Николаева В.И., Пушкин В.Н. К вопроосу об информационном взаимодействии изолированных систем без передачи энергии. - В кн.: Вопросы психогигиены, психофизиологии, социологии труда в угольной промышленности и психоэнергетики. М., I980, с. 34I-357.

I.4. О механизмах биологического действия электромагнитных полей низкой частоты

По отношению к биологическим системам низкочастотные электромагнитные поля являются квазистационарными полями. Этот факт позволяет свести изучение взаимодействия магнитной составляющей НЧ ЭМП с биологическими системами к изучению взаимодействия с тем же объектом статического МП, а электрической составляющей - к изучению действия квазистационарных электрических токов.

За последние годы сформировалась экспериментально апробированная теория о влиянии ЭМП на скорость радикальных химических реакций [1, 2] (см. также п.п. 2.I и 2.2 настоящей главы). В основе этой теории лежат представления о влиянии МП на интеркомбинационные переходы между состояниями разной мультиплетности [3, 4]. В [2] было установлено ускорение реакции разложения H_2O_2 каталазой и димерным комплексом (ЭДТА) с Fe^{3+} в МП напряженностью до 640 кА/м. Полученные результаты авторы интерпретировали в рамках Δg -эффекта. На основании данных этой работы можно полагать возможным влияние МП на скорость окислительно-восстановительных реакций, протекающих в митохондриях. Однако показано [5], что МП 280 кА/м не оказывает влияния на дыхание митохондрий. Об этом свидетельствуют и наши опыты, в которых полярографически измеряли дыхание митохондрий, находившихся в течение 60 мин при 0° в МП напряженностью 24 кА/м и 200 кА/м; каких-либо изменений в функциональном состоянии митохондрий также не обнаружено. Все это свидетельствует о том, что эффект влияния МП на интеркомбинационные переходы промежуточных продуктов окислительно-восстановительных реакций не проявляет себя заметным образом в полях напряженностью 24, 200 и 280 кА/м.

Известно, что в биологических мембранах постоянно протекают радикально-цепные реакции, сопровождающиеся хемилюминесценцией [6]. Считается, что высвечивание фотона обусловлено реакцией рекомбинации перекисных радикалов ненасыщенных жирных кислот липидов мембран. С позиции упомянутой теории [2] представляет интерес исследование влияния МП на перекисное окисление в биологических мембранах методом хемилюминесцентации (ХЛ).

В опытах использовалась установка, состоящая из световода длиной 0,32 м, ФЭУ-79, усилителя импульсов УИС-2М, пересчетного устройства ПС-I0000. Митохондрии, полученные от одной крысы, делили на две группы. ХЛ опытной группы изучалась в однородном МП 240 кА/м, контрольная группа ХЛ изучалась в отсутствие поля. Температура суспензии митохондрий

поддерживалась на уровне 37° , перемешивание осуществлялось механической мешалкой с частотой вращения 38 об/с. Запись показаний ПС-10000 проводили через каждые 10 с. Изучалась как спонтанная ХЛ (2 мин), так и индуцированная Fe^{2+} ХЛ. Железо (0,05 мг на 7,5 мл суспензии) вводилось дважды через каждые 10 мин.

Исследования показали, что МП напряженностью 240 кА/м вызывает снижение свечения митохондрий. Поскольку ХЛ биологических мембран обусловлена рекомбинацией радикалов RO_2, то можно предположить, что эта реакция имеет непосредственное отношение к уменьшению свечения митохондрий в МП. Однако измерения ХЛ олеиновой кислоты, проведенные в тех же условиях, что и в случае митохондрий, не подтвердили это предположение - влияние МП на свечение олеиновой кислоты нами не обнаружено.

В [7] найдено влияние МП на скорость ферментативного гидролиза ДНК ДНКазой в циркулирующей смеси. Но этот эффект не обнаруживается в статических условиях [8]. С целью выяснения степени причастности перемешивания суспензии митохондрий к уменьшению их свечения были проведены измерения ХЛ митохондрий в МП напряженностью 240 кА/м при частоте вращения мешалки 10 об/с (вместо 38 об/с). В этой серии опытов различий в свечении митохондрий в МП и в его отсутствие не обнаружено. Следовательно, эффект уменьшения свечения митохондрий в МП 240 кА/м при частоте вращения мешалки 38 об/с вызван перемешиванием суспензии. Каким образом? По-видимому, через индуцированные электрические токи, которые возникают в момент перемешивания суспензии [9]. Если справедливо предположение об индуцированных электрических токах, то отсутствие эффекта уменьшения свечения митохондрий должно наблюдаться также и при уменьшении напряженности МП. Действительно, измеряя ХЛ митохондрий в МП 24 кА/м при частоте вращения мешалки 38 об/с, мы не обнаружили обсуждаемого эффекта.

Оценка напряженности электрического поля E, при которой наблюдается уменьшение ХЛ митохондрий дает 10^{-3} В/см (радиус мешалки - 0,0015 м). С точки зрения взаимодействия МП с биологическими объектами эта величина E представляет интерес. Допустим E = 10^{-3} В/см оказывает заметное влияние на элементы крови, стенки в области аорты и сердца, где скорость потока крови порядка 0,5 м/с, тогда величина МП составит 160 кА/м.

Возможно, что эффекты, обнаруженные в ряде работ [10, 11] на лабораторных животных, обусловлены воздействием МП на кровообращение в области сердца и аорты.

Таким образом, проведенные измерения ХЛ митохондрий и их дыхания в МП напряженностью 24, 200 и 280 кА/м не дали результатов, которые свидетельствовали бы о наличии заметного влияния МП на скорость интеркомбинационных переходов в радикальных реакциях, протекающих в митохондриях.

В клетке протекает за одну секунду примерно 10^8-10^9 реакций [12]. В ходе большинства из них с определенной частотой возникают-исчезают

парамагнитные молекулы (например, коферменты дыхательной цепи в митохондриях осциллируют между окисленной (диамагнитной) и полуокисленной (семихинонной, парамагнитной) формами . Следовательно, в ходе этих реакций осциллируют локальные магнитные поля, величина которых порядка μ_B/r^3 = 800 А/м на расстоянии 10^{-9} м и 8 А/м на расстоянии $5 \cdot 10^{-9}$ м (здесь μ_B - магнетон Бора). Кроме того, в клетке имеются гемосодержащие ферменты с переменным магнитным моментом, изменяющимся в пределах нескольких магнетонов Бора. Вышеизложенное подтверждается рядом работ [13, 14]. Так, в [13] обнаружена генерация живыми клетками электромагнитного излучения частотой порядка 1 МГц, а в [14] - 30-140 ГГц. Все это наводит на мысль о том, что в живой клетке, находящейся во внешнем статическом МП, напряженность которого определяется выражением $h\nu = g\mu_B H$ (здесь ν - частота колебаний локального МП, h - постоянная Планка, g - g -фактор) в принципе могут осуществляться электронный и ядерный магнитные резонансы.

Рассмотрим радикальную пару (возникающую, например, в ходе перекисного окисления липидов мембран)в триплетном состоянии, при этом g - факторы радикалов различны. Допустим, что в клетке в данный момент генерируются электромагнитные колебания частоты ν_1 . Тогда во внешнем статическом МП соответствующей напряженности будет наблюдаться

$$h\nu_1 = g_1 \mu_B H \quad \text{и} \quad h\nu_1 \neq g_2 \mu_B H .$$

Благодаря поглощению кванта электромагнитного колебания радикалом с g_1-фактором, радикальная пара перейдет в синглетное состояние, произойдет рекомбинация радикалов, в результате чего общий уровень радикальных реакций повысится. В случае низких частот колебаний [13] эффективным может оказаться поглощение кванта спином ядра и переход радикальной пары (благодаря сверхтонкому взаимодействию электронного и ядерного спинов) из триплетного состояния в синглетное (и наоборот). Отсутствие влияния МП напряженностью 24, 200 и 280 кА/м на дыхание и ХЛ митохондрий в наших опытах и в [5] можно интерпретировать как отсутствие в митохондриях при указанных напряженностях резонансных колебаний. Следует обратить внимание на одно обстоятельство. Поскольку ферментативные реакции регулируются и их скорости меняются в широком диапазоне, то это должно находить свое отражение в непостоянстве (лабильности) спектральной плотности либо частотного спектра колебаний.

Если электронное состояние нелинейной молекулы является вырожденным, то, согласно теореме Яна-Теллера, геометрическая конфигурация ядер не может быть устойчивой. Естественное состояние такой молекулы - менее симметричная форма, в которой отсутствует орбитальное вырождение. Биологические молекулы (аминокислоты, углеводы, липиды, белки, нуклеиновые кислоты) являются асимметричными молекулами, т.е. у них отсутствуют такие элементы симметрии как плоскость и центр инверсии [15]. Значит, у биологических молекул орбитальное вырождение снято. Этот факт находит свое отражение, например, в том, что биологические свободные

радикалы обнаруживают лишь спиновый магнетизм [16]. Следовательно, эффект Яна-Теллера в таких молекулах отсутствует.

Что касается атомов первой и второй переходных групп, входящих в состав ряда биологически важных молекул, таких, как гемоглобин, миоглобин, цитохромы и др., в которых имеются элементы достаточно высокой симметрии, и, следовательно, сохраняется электронное вырождение, то надо принять во внимание следующее. Во-первых, у ионов второй переходной группы (Mo, J) и у Co^{2+}, Fe^{2+} эффект Яна-Теллера подавлен спин-орбитальным взаимодействием [17, 18]. Во-вторых, эффект Яна-Теллера отсутствует у ионов конфигурации d^5 (Fe^{3+}, Mn^{2+}). В-третьих, неэквивалентность лигандов, окружающих центральный атом, и достаточно сильная ковалентная связь между ними снижают симметрию молекулы (в геме, например, октаэдрическую до тетрагональной, ромбической и ниже [19]), вследствие чего верхний орбитальный дуплет расщеплен. Говорить об эффекте Яна-Теллера в этом случае, по-видимому, нет смысла. Проведенный анализ не подтверждает гипотезу [20] о том, что свойства живых систем - раздражимость, возбудимость, а также реакция на МП могут быть объяснены с позиции ян-теллеровского взаимодействия.

Модель макромолекулы в виде полностью вытянутой нити, обеспечивающая ориентацию биомакромолекул типа ДНК в относительно небольших МП (80 кА/м и ниже) [21], противоречит сложившимся в литературе [22, 23] представлениям о макромолекуле как о рыхлом клубке с соотношением осей равным нескольким единицам. Следовательно, величина магнитной анизотропии $\Delta\chi$ таких макромолекул должна существенно отличаться от принятой в работе [21]. Об этом свидетельствуют и наши экспериментальные исследования магнитной анизотропии молекул ДНК.

В опыте использовался метод двойного лучепреломления. Однородное МП можно было изменять от 4 кА/м до 320 кА/м. Наблюдение двойного лучепреломления осуществлялось как фотометрически, так и визуально [22]. Направление луча света было перпендикулярным МП. Рабочие растворы ДНК (1%-ный раствор NaCl) готовились из препарата фирмы Reanal. Гипохромизм ДНК [24] равнялся 34%. Концентрация раствора ДНК в опытах варьировала от 0,012% до 0,02% при pH 4,0 и 9,0. Для сравнения использовали ориентацию молекул ДНК в слабом потоке раствора [22]. Применялся аппарат с внутренним ротором радиусом 0,0073 м и длиной 0,082 м. Величина зазора между статором и ротором составляла $6 \cdot 10^{-4}$ м. Измерение двулучепреломления молекул ДНК в потоке дали возможность определить коэффициент вращательной диффузии ($\Theta = 68\ c^{-1}$) и степень преимущественной ориентации молекул относительно потока ($n / n_0 = 1,07$). В потоке сравнительно легко регистрировалась ориентация молекул ДНК; в МП, напротив, несмотря на многочисленные попытки, нам не удалось обнаружить каких-либо признаков ориентации. Все это, очевидно, свидетельствует о малости величины диамагнитной анизотропии $\Delta\chi$ молекул ДНК.

В отличие от наших опытов в работе [25] ориентация молекул ДНК изу-

чалаоь в весьма сильных МП до 10^7 А/м. Установлено, что степень ориентации молекул ДНК в МП $9{,}6\cdot10^6$ А/м была меньше 1%. Подставляя $H = 9{,}6\cdot10^6$ А/м, $n/n_o = 1{,}01$ в выражение

$$n/n_o = e^{\Delta\chi H^2/kT} < 1.01 \qquad (1)$$

найдем: $\Delta\chi < 3\cdot10^{-25}$ или на единицу объема $\Delta\chi < 2\cdot10^{-9}$. Чтобы судить о величине $\Delta\chi = (\chi_1 - \chi_n)\cdot10^{-6} < 0{,}002\cdot10^{-6}$, приведем для сравнения величину диамагнитной анизотропии бензола [26]: $\Delta\chi = (13{,}37 - 4{,}94)\cdot10^{-6} = 8{,}43\cdot10^{-6}$. Из этого сравнения видно, что величина $\Delta\chi$ молекул ДНК в растворе очень мала.

Все сказанное о ДНК можно отнести и к глобулярным белкам, к которым относятся все ферменты [27]. Оонованием для этого служат следующие соображения. По отношению к молекулам ДНК молекулы белка обладают меньшими размерами и меньшим молекулярным весом. Поэтому для наблюдения заметной преимущественной ориентации молекул белка в растворе необходимы значительные ориентирующие силы. И действительно, даже в потоке наблюдение заметной ориентации белковых молекул сопряжено с большими трудностями [22]. Между прочим, гемоглобин, для которого $\Theta = 10^6$ $с^{-1}$ [28], не обнаруживает заметной ориентации в МП напряженностью 872 кА/м [29].

Возможность поворота в МП липидного домена [30] может повлиять на функциональное состояние ферментов и переносчиков, локализованных в мембране. Ориентационный эффект липидных доменов в низкочастотном ЭМП будет иметь место, если время релаксации домена меньше или равно периоду колебаний поля. Время релаксации домена порядка $1 \sim 30$ с [30]. Следовательно, ориентационный эффект липидных доменов в мембране будет существенным в ЭМП, частота колебаний которого равна примерно 1 Гц и ниже. Выше этой частоты домены не смогут успевать следовать за изменениями магнитной составляющей.

В опытах по изучению влияния МП напряженностью 240 кА/м на скорость оседания эритроцитов нами не обнаружено каких-либо изменений в скорости оседания эритроцитов. Отсутствие эффекта станет понятным, если принять во внимание, что сила гравитации на 8 порядков превосходит силу Лоренца, действующую на эритроцит в момент оседания.

Что касается взаимодействия МП с биологическими системами на организменном уровне, то в [31, 32] показано, что тормозное действие МП на течение крови несущественно и что МП не оказывает влияния на проведение импульса по нерву.

При движении в МП электропроводящей среды, каковой является и кровь, в ней индуцируется электрический ток. На зависимости тока индукции от скорости течения электропроводящей среды основаны электромагнитные расходомеры [33] и, в частности, электромагнитные методы измерения кровотока [34]. В зависимости от калибра сосуда и скорости кровотока в МП 200 кА/м регистрируется ЭДС в пределах от 20 до 70 мкВ. При этом наб-

людается повышенное тромбообразование и феномен струи. Плотность тока, при которой отмечены упомянутые эффекты [35], равна $2{,}8 \cdot 10^{-7}$ А/см^2.

Влияние электрической составляющей низкочастотного ЭМП на биологический объект изучалось нами с использованием электрического тока низкой частоты. Источником тока служил генератор ЗГ-12М. Объектом исследования служили митохондрии, а в качеотве показателя - ХЛ. Ток подводился к суспензии митохондрий при помощи платиновых электродов. Плотность тока - 110 мкА/см^2. Частота колебаний - 7 кГц. Температура суспензии 37^0. Регистрацию ХЛ проводили в режиме счета квантов измерительной системой СБС-2. Результаты измерений показали, что электрический ток частотой 7 кГц и плотностью 110 мкА/ом^2 снижает индуцированную Fe^{2+} ХЛ митохондрий ($P < 0{,}02$), что подтверждает справедливость нашего предположения о причине снижения ХЛ митохондрий в МП.

Как известно, ионы Ca^{2+} снижают ХЛ биологических мембран, индуцированную Fe^{2+} [6]. Считается, что Ca^{2+}, взаимодействуя с липидами, приводит к уплотнению их углеродных цепей, изменяя таким образом их конформацию [36]. Полагают, что это происходит благодаря связыванию ионами кальция полярных групп липидов, в результате чего уменьшается отталкивание между молекулами, что приводит к уплотнению и достижению более высокой степени упорядоченности (речь идет о липидной пленке и бислойной мембране). Тот факт, что электрический ток аналогично Ca^{2+} снижает ХЛ митохондрий, свидетельствует о том, что ЭП оказывает на мембраны примерно такое же действие, как и Ca^{2+}, т.е. под действием электрического поля плотность (объем) мембраны меняется и, следовательно, меняется диалектрическая постоянная. А это ничто иное как электрострикция. В пользу этого предположения свидетельствует наблюдение электрострикции в искусственных бислойных мембранах [37], причем установлено, что толщина (емкость) такой мембраны изменяется пропорционально квадрату приложенного напряжения. Таким образом, есть основания для предположения, что в момент нахождения в низкочастотном ЭМП живой клетки в ее мембранах возникают отрикционные силы [38]:

$$f = \frac{1}{8\pi} \operatorname{grad}\left(E^2 \frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} \cdot \tau\right), \qquad (2)$$

где ε - диалектрическая постоянная мембраны; τ - плотность мембраны.

Приведенное предположение о стрикционных силах, естественно, нуждается в дальнейшей проверке.

Итак, влияние низкочастотного электромагнитного поля на биологические системы, по нашему мнению, в основном сводится к действию электрической составляющей. Не исключается влияние магнитной составляющей. Вероятными механизмами могут быть: а) в ЭМП частотой не превышающей 1 Гц, возможно, срабатывает механизм ориентации липидных доменов, который, как полагают, может оказывать действие на функциональное состояние мембран; б) при значении Н магнитной составляющей, определяемой выражением $h\nu = g\mu_B \cdot H$, в живой клетке, возможно, имеют место электронный

и ядерный магнитные резонансы; источником переменного магнитного поля частоты ν могут быть осцилляции между парамагнитным и диамагнитным состояниями молекул, принимающих участие в окислительно-восстановительных и радикально-цепных реакциях; резонансные эффекты могут, в принципе, оказывать влияние на скорость интеркомбинационных переходов в промежуточных продуктах радикальных реакций; в) на организменном уровне магнитная составляющая индуцирует в крови в области сердца и аорты низкочастотные электрические токи, которые при определенных значениях могут быть заметными для организма.

Литература

I. Салихов К.М., Сарваров Ф.С., Сагдеев Р.З. и др. Диффузионная теория рекомбинации радикальных пар с учетом синглет-триплетных переходов. – Кинетика и катализ, 1975, т. 16, № 2, с. 279-287.

2. Вайнер Л.М., Подоплелов А.В., Лешина Т.В. и др. Влияние магнитного поля на скорость разложения H_2O_2 каталазой и комплексом ЭДТА с Fe^{3+}. – Биофизика, 1978, т. 23, вып. 2, с. 234-240.

3. Бучаченко А.Л. Химическая поляризация электронов и ядер. М.: Наука, 1974. 396 с.

4. Ссколик И.А., Франкевич Е.П. Влияние магнитных полей на фотопроцессы в органических твердых телах. – УФН, 1973, т. 3, вып. 2, с. 261-281.

5. Кашин Л.П., Бржевская О.Н., Неделина О.С. и др. Исследование окислительного фосфорилирования в переживающих митохондриях методом ЭПР. – Биофизика, 1978, т. 23, вып. 6, с. 1024-1028.

6. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологичеоких мембранах. М.: Наука, 1972, 382 с.

7. Комолова Г.С., Ерыгин Г.Д. Влияние постоянного магнитного поля высокой напряженности на ферментативный гидролиз нуклеиновых кислот. – Доклады АН СССР, 1972, т. 204, с. 995-997.

8. Дымшиц Г.М., Беккер Ж.М., Молин Ю.Н. Отсутствие влияния постоянного магнитного поля на ферментативный гидролиз ДНК. – Биофизика, 1974, т. 19, вып. 4, с. 760-761.

9. Шерклиф Дж. Курс магнитной гидродинамики. М.: Мир, 1967. 480 с.

10. Климовская Л.Д., Смирнова Н.М. Некоторые вегетативные реакции у кроликов, подвергнутых воздействию постоянного магнитного поля. – Космич. биология и авиакосмич. медицина, 1975, т. 9, вып. 3, с. 18-22.

11. Пирузян Л.А., Барсегян Л.Х., Мухортова О.М. и др. Влияние постоянного магнитного поля на концентрацию свободных радикалов в органах и тканях мышей. – Изв. АН СССР. Сер. биол., 1971, № 1, с. 128-136.

12. Казначеев В.П., Иванов Г.К., Казанина С.С. и др. О роли сверхслабых световых потоков в биологических системах. – В кн.: Биоэнергетика и биологическая спектрофотометрия. М.: Наука, 1967, с. 80-84.

13. Pohl H.A. Oscillating fields about growing cells. Proceedings of the

7th International Symposium on Quantum Biology and Quantum Pharmacology. Palm Coast. Fla, March 5-8, 1980. "Int. J. Quantum Chem.", 1980, Quantum Biol. Symp. № 7, p. 411-431.

I4. Webb S.J. Techniques for the ctudy of living cells by Raman and microwave spectroscopy. Collect. Phenom. , 1981, vol. 3, № 3-4, p. 313-320.

I5. Урманцев Ю.А. О философском и естественнонаучном значении некоторых проявлений правизны и левизны в живой природе. - В кн.: О сущности жизни. М.: Наука, I964, с. I70-I9I.

I6. Брилл А. Обнаружение свободнорадикальных промежуточных соединений в биохимических реакциях по их магнитной восприимчивости. - В кн.: Свободные радикалы в биологических системах. М.: Изд-во иностр. лит., I963, с. 76-I00.

I7. Абрагам А., Блини Б. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. М.: Мир, I973. 349 с.

I8. Альтшулер С.А., Козырев Б.М. Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. М.: Наука, I972. 67I с.

I9. Вейсблут М. Физика гемоглобина. - В кн.: Структура и овязь. М.: Мир, I969, с. II-I6I.

20. Шишло М.А., Кубли С.Х., Нужный В.П. Биоэнергетика и регулирующие системы организма при действии магнитных полей. - В кн.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, I978, с. 8I-I02.

2I. Дорфман Я.Г. Физические явления, происходящие в живых объектах под действием постоянных магнитных полей. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, I97I, с. I5-23.

22. Цветков В.Н., Эскин В.Е., Френкель С.Я. Структура макромолекул в растворах. М.: Наука, I964. 7I9 с.

23. Волькенштейн М.В. Молекулы и жизнь. М.: Наука, I965. 504 с.

24. Спирин А.С., Гаврилова Л.П., Белозерский А.Н. К вопросу о природе и способах количественной оценки "гиперхромического эффекта" нуклеиновых кислот. - Биохимия, I959, т. 24, № 4, с. 600-607.

25. Maret G., Schickfus M.V., Wendorff J.H. Magnetic orientation of macromolecules in meltes ans solutions.-Colloq. int. CNRS, 1975, № 242, p. 71-73.

26. Дорфман Я.Г. Диамагнетизм и химическая овязь. М.: Физматгиз, I96I. I78 с.

27. Ленинджер А. Биохимия. М.: Мир, I974. 957 с.

28. Сетлоу Р., Поллард Э. Молекулярная биофизика. М.: Мир, I964. 436 с.

29. Malone C.P., Downing M., Giles L. Magnetic isotropy of the red blood cell. - Biochem.et biophys. acta, 1963, vol. 6, № 1, p. 165-168.

30. Бреслер С.Е., Бреслер В.М. О жидкокристаллической структуре биологических мембран. - Докл. АН СССР, I974, т. 2I4, № 4, с. 936-94I.

3I. Абашин В.М., Евтушенко Г.И. К вопросу о статье В.А.Варданяна "Влияние магнитного поля на течение крови". - Биофизика, I974, т. I9, вып. 6, с. II07.

32.Абашин В.М., Евтушенко Г.И. Постоянное магнитное поле и проведение импульса по нерву. - Биофизика, 1975, т. 20, вып. 2, с. 281-282.
33.Шерклиф Дж. Теория электромагнитного измерения расхода. М.: Мир, 1965. 421 о.
34.Байер В. Биофизика. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 430 о.
35.Кикут Р.П. Влияние магнитных полей на систему крови и кровообращения. - В кн.: Реакции биологических сиотем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, о. 149-166.
36.Смит Я., Бутлер К. Системы ориентированных липидов как модельные мембраны. - В кн.: Метод спиновых меток (теория и применение). М.: Мир, 1979, с. 444-486.
37.Богуславский Л.И. Жидкокристаллические структуры в биологических системах. - В кн.: Жидкие криоталлы. М.: Химия, 1979, с. 249-280.
38.Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Наука, 1976. 614 с.

I.5. Физико-химические механизмы биологического действия микроволн

Как известно, под действием ЭМП на среду, содержащую свободные заряды и дипольные молекулы, происходят два основных процесса: релаксационные колебания дипольных молекул, вызывающие диэлектрические потери, и колебания свободных зарядов, приводящие к потерям проводимости. Соотношение между этими двумя видами потерь выражают тангенсом угля потерь $tg\,\delta$:

$$tg\,\delta = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon' \varepsilon_0},$$

где σ - удельная проводимость; ω - круговая частота; ε', ε_0 - относительная и абсолютная диэлектрические проницаемости среды. Одна и та же среда для различных частот может обладать различными σ и ε', т.е. имеет место дисперсия электропроводности. Применительно к электрическим параметрам биологических тканей этот вопрос был рассмотрен в работах Швана [1, 2]. Диэлектрические свойства биологических сред, макромолекул и клеток являются определяющими во взаимодействии их о ЭМП.

Экспериментально установлено, что жидкие ткани (кровь, лимфа) и ткани с большим содержанием воды (мышцы, печень и др.) имеют более высокие значения диэлектрической проницаемости и более низкие значения сопротивления по сравнению с тканями, содержащими мало воды (жир, кость). Поэтому методы измерения проводимости или диэлектрической проницаемости могут быть использованы для определения степени влажности жировой ткани. При облучении биосистем микроволнами сравнительно высокой интенсивности наряду с другими эффектами наблюдается тепловой. Причем в зависимости от глубины проникновения микроволн в ткани (или длины волны), а также толщины и электрических свойств тканей соотношение теплот, выделяемых на поверхности тела (кожа) и в более глубоких слоях (жировой слой и мышцы), будет различным, что всегда следует иметь в виду

при лечебном применении СВЧ-полей. Поглощение энергии микроволн в тканях зависит [3] от соотношения размеров объекта и длины волны ЭМП.

В литературе иногда обсуждается вопрос о возможности "специфического нагрева" части облучаемой системы относительно всего объема среды (например, повышение температуры клеток в суспензии без заметного нагрева всей взвеси). Однако еще в 40-х годах было показано, что избирательное повышение температуры находится в прямой зависимости от квадрата диаметра d частиц:

$$\Delta T = K \cdot \frac{W \cdot d^2}{C},$$

где W - удельная поглощенная мощность облучения; C - коэффициент теплопроводности системы; K - постоянная.

Для объектов клеточных размеров такой нагрев не превышает $1\text{-}5 \cdot 10^{-3}$ C°.

Наряду с тепловым эффектом микроволн, обусловленным потерями проводимости и диалектрическими потерями, имеет место и резонаноное действие ЭМП на белки и фермент-субстратные комплексы [3-5]. Наличие конформационных колебаний у макромолекул (белков, ферментов, нуклеиновых кислот), соответствующих диапазонам СВЧ и более низкочастотным [6], также может быть одной из причин влияния ЭМП на бислогичеокие объекты.

В последние годы высказывалось мнение, что эффекты микроволн могут быть объяснены на основе их детектирования в некоторую форму постоянного тока внутри организма. Основываясь на работе Коля о выпрямляющих свойствах нерва лягушки, была экспериментально показана возможность детектирования переменного тока оболочкой клетки в опытах с инфузориями [3]. Г.Шван [1], рассматривая этот вопрос, пришел к заключению, что разности потенциалов, которые могут возбуждаться слабыми с точки зрения теплового эффекта полями, будут на два порядка меньше, чем потенциал покоя мембран (70 мВ), что, по его мнению, не может вызвать существенный эффект для возбудимой мембраны. Следует, однако, иметь в виду, что спооообность нервной системы к суммации подпороговых раздражителей ие исключает возможности детектирования.

Дисперсия электрических параметров в ЭМП указывает на важную роль биологических мембран в реакции клеток и тканей на ЭМП вплоть до частот порядка 10 МГц. Начиная со 100 МГц, клеточные мембраны отановятся практичеоки короткозамкнутыми и основной вклад в поглощение ЭМП клетками и тканями вносят ионы и молекулы воды. Эти традиционные представления, а также небольшая толщина мембран по оравнению о общим объемом клетки позволили Г.Швану [1] сделать неправильное, на наш взгляд, заключение о несущественной роли мембранных структур во взаимодействии биосистем с СВЧ-полями.

Следует отметить также исследование действия СВЧ-поля на функциональное состояние нерва и параметры нервного импульса при немодулированном (f = 2,4 ГГц различной интенсивности) и импульсном (f = 3 ГГц,

$P_{ср}$ = 10 мВт/см^2) облучениях [7]. Под влиянием немодулированных микроволн, нагревавших нерв на 2^0 в течение 30 мин, скорость проведения увеличилась на 16±4,5 %, а рефрактерные фазы несколько укорачивались. Эффект усиливался с ростом интенсивности облучения. Импульсные поля наряду с увеличением скорости проведения на 10% повышали также и возбудимость нерва лягушки.

С возрастанием мощности микроволн увеличивалось амплитуда биопотенциалов, скорость проведения возбуждения и амплитуда гиперполяризации. Приведенные данные дают основание предполагать, что в основе действия микроволн на нервные структуры лежат изменения в мембране нервных волокон, которые могут привести к снижению мембранного потенциала и даже возникновению спонтанной импульсной активности (например, в случае возможной рецепции микроволн), на что указывалось ранее [8]. Экспериментально выявлено снижение мембранного потенциала нервных клеток изолированных ганглиев моллюска под влиянием СВЧ ЭМП [9].

Другая серия исследований была посвящена изучению влияния микроволн сантиметрового диапазона (λ = 7,65–5,40 см) на одноклеточные организмы [10]. Оценка летального действия микроволн производилась путем измерения убыли емкостной составляющей импеданса клетки мостовым методом и использованием микроэлектродной техники. Показано, что убывание емкостной составляющей до половины исходного значения полностью обратимо, если прекратить СВЧ-облучение. Затем начинается фаза необратимых изменений. Под действием СВЧ-поля происходят резкое уменьшение активного сопротивления мембраны и незначительное снижение емкостной составляющей, что свидетельствует о возможных изменениях отруктуры мембраны и ее проницаемости. Эти данные позволили перейти к непосредственному исследованию физико-химических механизмов мембранной активности, на чем следует остановиться подробнее.

Э.Ш.Исмаилов [11] исследовал влияние микроволн диапазона 1009 МГц интенсивностью 45 мВт/см^3 на проницаемость эритроцитов человека для ионов калия и натрия. Облучение проводили в течение 30 мин в условиях термостатирования при 37^0. Показано, что под влиянием СВЧ-поля происходит заметный выход калия из клеток. Одновременно наблюдается увеличение поступления натрия в клетку, т.е. происходит снижение градиента концентрации этих ионов на мембране эритроцита. Дополнительная инкубация суспензии эритроцитов при температуре 37^0 в течение 30 мин усиливало эффект. Затем наблюдалось постепенное восстановление исходных градиентов.

Для установления возможного пути дейотвия микроволн на проницаемость активный транспорт в эритроцитах ингибировали с помощью моноиодацетата. СВЧ-облучение таких эритроцитов вызвало дополнительный выход калия из клеток и поступление в них натрия по сравнению с контролем, в котором эритроциты подвергались только действию ингибитора. Однако СВЧ-эффект в данном случае менее выражен. Таким образом, было установлено, что

микроволны ускоряют диффузию ионов по градиенту концентрации через поры в мембране и одновременно ингибируют активный транспорт, т.е. действие СВЧ-волн на проницаемость мембран является неспецифическим. Возможные молекулярные механизмы такого действия микроволн обсуждались в /I2 -I4/ на основе двух основных процессов, которые приводят к поглощению СВЧ-энергии в биологических системах: релаксационных колебаний дипольных молекул воды, обусловливающих диалектрические потери, и колебаний свободных зарядов, приводящих к потерям проводимости в поверхностных слоях мембраны.

Благодаря работам последних лет показана существенная роль "структурной" воды в стабилизации структуры молекул белка /I5/ и белок-липидном взаимодействии в биомембранах /I6, I7/. Характеристическая частота такой воды лежит в области дециметровых радиоволн. Поэтому диалектрические потери микроволн этого диапазона в структурированной воде должны быть выше, чем в обычной. Наиболее вероятно, что потери СВЧ-энергии вызовут фазовый переход структурированной воды и более жидкое состояние, а это в свою очередь должно привести к конформационным перестройкам белковых молекул и изменению степени белок-липидного взаимодействия в мембране клеток.

Потери проводимости у поверхности мембраны (область двойного электрического слоя) также будут выше, чем в остальном объеме клетки, так как концентрация ионов и ионогенных групп макромолекул с соответствующими характеристическими частотами в поверхностных областях мембраны больше по сравнению о внутри- и межклеточной жидкостью.

Таким образом, в биомембранах поглощается больше СВЧ-энергии относительно окружающего раствора. Часть этой энергии рассеивается в виде тепла, повышая общую температуру системы, а другая часть затрачивается на разрушение гидратных оболочек ионизированной поверхности мембран и переход воды, участвующей в гидрофобных взаимодействиях белковых и липидных компонентов мембраны, в более подвижное состояние. Оба эти процесса вызывают нарушения в молекулярной организации мембран, которые и приводят к изменению ее функций.

Изменение проницаемости мембран эритроцитов под влиянием микроволн было позже подтверждено В.М.Штемлером /I8/, который при тех же условиях, что и в работе /I0/, определял однонаправленные потоки ионов калия и натрия из внешней среды внутрь эритроцитов. Было выявлено достоверное уменьшение окорости входа калия на I5% и увеличение входа натрия на I0% при облучении эритроцитов СВЧ-полем интенсивностью 50 мВт/см^3. В диапазоне частот 898-2340 МГц не было обнаружено явной зависимости эффекта от частоты облучения. На частоте 2340 МГц изучалась также зависимость изменения скорости входа калия в эритроциты от интенсивности и длительности воздействия. Было выявлено, что пороговая интенсивность воздействия лежит в области I-I0 мВт/см^3. Изменение скорости входа калия носило фазный характер, причем вначале наблюдалось уменьшение этой

скорости (достигающее минимума через 20–30 мин после начала облучения), затем – постепенное возрастание скорости с изменением знака эффекта на положительный и, наконец, онова наблюдалась фаза отрицательного смещения скорости поступления калия в эритроциты.

Изменение проницаемости клеток позднее было обнаружено и зарубежными исследователями [20]. Изучалось действие микроволн на электронпереносящие мембраны митохондрий (ЭМХ) при частотах 500, 1000, 3000 МГц и интенсивностях от 2 до 90 мВт/см^2 в условиях термостатирования при 34° [21]. В области интенсивностей от 2 до 20 мВт/см^2 для 1000 и 3000 МГц и до 40 мВт/см^2 для 500 МГц микроволны повышают энергизацию МХ. При 30 мВт/см^2 для частот 1000 и 3000 МГц и при 50 мВт/см^2 для 500 МГц эффекты действия теплового фактора и микроволн становятся сравнимыми, а дальнейшее увеличение интенсивности вызывает разобщение дыхания и окислительного фосфорилирования. Оба эффекта – энергизация и деэнергизация МХ под влиянием микроволн отановятся более выраженными при pH 8,5. Известно, что подщелачивание среды способствует лабилизации мембран МХ за счет увеличения их гидрофильности [22].

Мембранная активность микроволн нами [23] подтверждена: под влиянием дециметровых радиоволн выявлены сдвиги электрофоретической подвижности (ЭФП) эритроцитов, величина и направление которой изменялось в зависимости от интенсивности и длительности облучения. Показано, что изменение ЭФП эритроцитрв связано с двумя процесоами: деформацией двойного электричеокого слоя (ДЭС), приводящей к уменьшению ЭФП, и возмож – ными структурными перестройками мембраны эритроцита, вызывающими увеличение числа потенциалобразующих ионов на поверхности клетки.

Деформация ДЭС под влиянием СВЧ–облучения имеет порог в области 1–3 мВт/см^3. Возможные структурные перестройки в мембране возникают при интенсивности выше 7–10 мВт/см^3 и находятся в прямой зависимости от интенсивности поля. Оба процесса – следствие преимущественного поглощения СВЧ–энергии у поверхности мембраны (за счет потерь проводимости) и в самой мембране (за счет диэлектрических потерь) по сравнению с остальным объемом среды.

В последнее время была предпринята попытка прямого экспериментального исследования возможности изменения структуры мембран под влиянием дециметровых радиоволн разной интенсивности [24] методом инфракрасной спектроскопии и исследования дейтерообмена, позволяющего оценивать степень доступности пептидных атомов водорода в белках [25]. Выявлено, что СВЧ–облучение диапазона 1009 МГц интенсивностью 45 мВт/см^3 приводит к небольшим конформационным перестройкам молекул в мембране, но не вызывает перехода α –опирали или клубка в β –структуру. Дейтерообмен в течение 36–38 мин показывает более выраженный переход полосы амид II около 1540 см$^{-1}$ в полосу на 1450 см$^{-1}$ в облученных тенях эритроцитов. Этот эффект находится в прямой зависимости от интенсивности СВЧ–поля и наблюдается при интенсивностях 10–15 мВт/см^3 и выше.

Таким образом, следует считать установленным влияние микроволн на структуру и функцию биомембран, не связанное с повышением температуры системы или отдельных ее частей. Рассмотренные механизмы биологической активности микроволн должны быть приняты во внимание при разработке гигиенических норм предельно допустимых доз СВЧ-облучения /26/.

Литература

I. Шван Г. СВЧ-Биофизика. СВЧ-энергетика. М.: Мир, 1971, т. 3, с. 7-45.
2. Schwan H. Microwave radiation: Biophysical considerations and standards criteria. - YEEE Trans. Bio-Med. Eng., 1972, vol. 19, p. 304.
3. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968, 288 с.
4. Девятков Н.Д. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона длин волн на биологические объекты. - УФН, 1973, т. 110, вып. 3, с. 453-454.
5. Корнева Л.Г., Гайдук В.И. О принципиальной возможности резонансного воздействия СВЧ-колебаний на гемоглобин. - ДАН СССР. Сер. биол., 1970, т. 193, № 2, с. 465.
6. Шноль С.Э. Конформационные колебания макромолекул. - В кн.: Колебательные процессы в биологических и химических системах. М.: Наука, 1967, с. 22-41.
7. Каменский Ю.И. Влияние дозировки энергии микроволн на параметры нервного импульса. - В кн.: Гигиена труда и биологическое дейотвие электромагнитных волн радиочастот. М., 1968, с. 67-69.
8. Исмаилов Э.Ш. К воздействию микроволн на нервную систему. - В кн.: Тез. докл. Всесоюз. конф. по пробл. биоф. нейродинамики и общ. биофизики. Л.: Изд-во ЛГУ, 1969, с. 27-29.
9. Мирутенко В.И., Богач П.Г. Влияние СВЧ электромагнитного поля на мембранный потенциал нервных клеток изолированных ганглиев моллюска Planores Corneus. - В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. М., 1972, с. 60-61.
10. Исмаилов Э.Ш. О влиянии микроволн на Opalina ranarum: Дис. ... канд. биол. наук. Л.: ЛГУ, 1967. 110 с.
11. Исмаилов Э.Ш. К механизму влияния микроволн на проницаемость эритроцитов для ионов калия и натрия. - Биол. науки, 1971, № 3, с. 58-60.
12. Исмаилов Э.Ш. Изменение проницаемости мембран эритроцитов под влиянием микроволн и его механизмы. - В кн.: Тез. докл. IУ Междунар. биофиз. конгр. М., 1972, т. 4, с. 434-435.
13. Исмаилов Э.Ш. К механизму влияния микроволн на проницаемость эритроцитов человека. - В кн.: Гигиена труда и биологичеокое действие электромагнитных волн радиочастот. М., 1972, с. 61-62.
14. Исмаилов Э.Ш. К вопросу о физико-химическом воздействии микроволн на биомембраны. - В кн.: Биофизические аспекты загрязнения биосферы. М.: Наука, 1973, с. 67-69.

I5.Волькенштейн М.В. Молекулы и жизнь. М.: Наука, I965. 504 с.
I6.Боровягин В.Л. Клеточные мембраны. - Биофизика, I97I, т. I6, вып. 4, с. 746-766
I7.Singer S.Y. The molecular organization of membranes. - Ann. Rev. of Biochemistry, 1974, vol. 43, p. 805-832.
I8.Штемплер В.М. Исследование некоторых сторон механизма биологического действия микроволн: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: НИИ гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР, I974, 37 с.
I9.Шван Х.П., Фостер К.Р. Воздействие высокочастотных полей на биологические сиотемы: алектрические свойства и биофизические механизмы. - ТИИЭР, I980, т. 68, № I, с. I2I-I32.
20.Grant E., Illinger K., Servantie B., Szmigielski S. Session C. effects of microwave radiation at the cellular and molecular level. - Ibid., p. 324-326.
2I.Зубкова С.М. О механизме действия микроволн на биологические мембраны. - Тр. ЦНИИКФ. М., I976, т. 32, с. I5.
22.Конев С.В., Аксенцев С.Л., Черницкий Е.А. Кооперативные переходы белков в клетке. Минск: Наука и техника, I970. 202 с.
23.Исмаилов Э.Ш. О влиянии СВЧ-облучения на электрофоретическую подвижность эритроцитов. - Биофизика, I977, т. 22, № 3, с. 493-498.
24.Исмаилов Э.Ш. Инфракрасные спектры теней эритроцитов в области полос амид I и амид II при микроволновом облучении. - Биофизика, I976, т. 2I, вып. 5, с. 940-942.
25. Химия белка. М.: Мир, I969. 239 с.
26.Методолгические вопросы гигиенического нормирования неионизирующих излучений. М., I977, 44 с.

2. ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТОВ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА МОДЕЛЯХ ЖИВЫХ СИСТЕМ

2.I. Принцип действия магнитных полей на скорость неравновесных процессов

Возможность влияния МП на химические реакции и другие неравновесные процессы, происходящие на молекулярном уровне, давно интересует физиков, химиков и биологов - всех, кому приходится учитывать воздействие внешних факторов на ход процессов, сопровождающих превращение вещества. Особенно важна такая возможность для биологов, так как биохимические процессы всегда проходят в МП Земли. Если связь химических реакций и МП, особенно слабых, существует, то вполне возможно, что изменения МП существенны для жизнедеятельности земных организмов. А причин таких изменений много - это и колебания напряженности ГМП, вызванные земными и космическими явлениями, и окружающие нас искусственные МП, а также выход человека в Космос.

Рассмотрим один вопрос: что знает современная наука о возможности влияния МП на ход процессов на молекулярном уровне?

Следует согласиться с тем, что любое действие МП связано с изменением энергии каких-то частиц в веществе, "чувствующих" это поле. Подбирая частицы, на которые будет действовать МП в модельных химических системах, можно ограничиться молекулами и их "осколками" – свободными радикалами и ионами. У молекул, как правило, отсутствует собственный магнитный момент, но он может быть наведен под действием внешнего МП. У свободных радикалов, а также у многих ионов имеется магнитный момент. Вычислим энергию взаимодействия внешнего МП с этими частицами. Для частиц с магнитным моментом M энергия взаимодействия с МП напряженностью H : $E_{пара}$ = MH. Для диамагнитных молекул веществ с диамагнитной восприимчивостью χ эта энергия $E_{диа} = 1/2\ \chi H^2$.

Обычно считают, что для изменения под действием внешнего поля B свойств частиц, участвующих в реакции, необходимо, чтобы энергия взаимодействия была бы соизмерима или превосходила ту энергию, которая характеризует движение частиц в отсутствие внешнего МП. Но все частицы участвуют в тепловом движении, следовательно, казалось бы, для проявления влияния поля необходимо, чтобы энергия магнитного взаимодействия была бы больше, чем тепловая энергия: MH > kT.

Поскольку магнитный момент M парамагнитной частицы (радикала, ион-радикала) – величина, близкая к магнетону Бора, то энергии магнитного взаимодействия и теплового движения соизмеримы лишь при использовании МП $\geqslant$ 100 Тл. Можно утверждать, что МП с индукцией B = 1,4 Тл изменяет энергию частиц, обладающих магнитным моментом, так же, как это происходит при изменении температуры на 1°. Еще более слабо влияют магнитные поля на энергию диамагнитных молекул. Поэтому надежды на какое-либо действие магнитного поля на молекулярном уровне связывали только с реакциями при очень низких температурах или при сверхсильных магнитных полях. Исключение составляли только идеи об ориентирующем действии внешнего магнитного поля на очень большие диамагнитные молекулы или на микрокристаллы, содержащие 10^{6}–10^{9} атомов. Для таких крупных частиц из-за анизотропии магнитной восприимчивости выигрыш энергии при их расположении вдоль магнитных силовых линий может быть соизмеримым с тепловой энергией в МП 0,1–1 Тл. Эти соображения теоретического характера и невоспроизводимость большинства результатов по наблюдению влияния МП на химические реакции в ранних работах привели к тому, что к 60-м годам большинство исследователей считало, что небольшое МП – до 1 Тл не может оказывать заметного влияния на ход реакций при комнатных температурах [1].

Ситуация с тех пор коренным образом изменилась. В настоящее время имеются убедительные экспериментальные факты о влиянии магнитных полей на кинетику многих процессов, идущих на молекулярном уровне, в том числе на скорость химических реакций, причем полей слабых в смысле

возможности их конкуренции с тепловым движением, т.е. действующих в условиях, когда МН « кТ.

Основные экспериментальные и теоретические исследования в нашей стране, в которых были открыты и обоснованы принципы влияния МП на ход неравновесных процессов, проведены в Институте химической физики АН СССР, где были обнаружены и изучены магнитные эффекты в органических твердых телах [2, 3] и в Институте химичеокой кинетики и горения СО АН СССР, где впервые установлено влияние внешнего магнитного поля на скорость радикальных химических реакций в жидких растворах [4, 5].

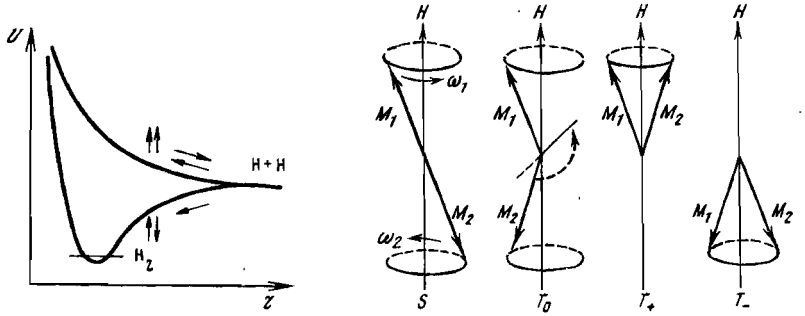
Рассмотрим, как оовременной теории удалось обойти, казалось бы, убедительные аргументы о невозможности влияния слабых МП на ход процессов с участием парамагнитных частиц.

Закон сохранения спина в реакциях. Тепловое движение молекул приводит к тому, что магнитные моменты парамагнитных частиц с одинаковой вероятностью ориентированы в любом направлении. В МП энергии магнитных моментов, направленных вдоль поля и против него, различаются на величину, меньшую кТ, и поэтому появляется лишь небольшая доля частиц, ориентированных вдоль поля.

Ориентация частицы или ее магнитного момента по отношению к направлению внешнего МП сама по себе еще не влияет на свойства парамагнитных частиц. Но от изменения ориентации магнитных моментов взаимодействующих частиц по отношению друг к другу эти овойства, в частности реакционная способность, зависят. Примером может служить процесс образования молекулы водорода H_2 из атомов H, поясненный на рис. 3I: $H + H \rightarrow H_2$.

Каждый из атомов H является свободным радикалом – имеет один неспаренный электрон, обладающий моментом количества движения (спином): S = I/2 $\hbar$ (где $\hbar$ – постоянная Планка), и связанным с ним магнитным моментом: $M = g \cdot \frac{e}{2mc} \cdot S$, где $g \cdot \frac{e}{2mc} = \gamma$ – гиромагнитное отношение. При столкновении частиц, в соответствии с принципами механики, должен сохраняться момент количества движения. Поскольку у конечного продукта реакции – молекулы водорода – спин равен нулю, то реакционноспособными являются только такие пары атомов H, которые в момент столкновения имели противоположно направленные спины (и, следовательно, магнитные моменты). Состояние пары радикалов, спины которых имеют диаметрально противоположные направления и, следовательно, в сумме дают ноль, называется *синглетным*. Состояния, в которых спины не компенсируют друг друга, образуют 3 триплетных оостояния (рис. 32).

Исходя из того, что столкновения случайны, приходим к выводу, что вероятности образования пары оталкивающихся радикалов в синглетном или триплетном состоянии относятся как I:3. Следовательно, в нашем примере только I/4 всех столкновений атомов H приведет к образованию синглетных пар. Ясно, что изменение относительной ориентации магнитных моментов у сталкивающихся атомов привело бы к "переключению" каналов реакции – вместо образования молекулы H_2 произошло бы рассеяние атомов друг на друга.



Р и с. 31. Зависимость потенциальной энергии (U) двух атомов от расстояния (r) между ними

Образование стабильной молекулы H_2 при сближении атомов H происходит только из пар атомов, имеющих противоположно направленные спины, т.е. из синглетных пар. Атомы с одинаково направленными спинами, образующие триплетные пары, после столкновения онова расходятся

Р и с. 32. Различные спиновые состояния пары радикалов

Магнитный момент каждого радикала M_1 и M_2 прецеосирует вокруг направления внешнего магнитного поля H. Если окорости прецесоии магнитных моментов в паре ω_1 и ω_2 различны, то состояния S и T периодически переходят друг в друга. Для перехода между состояниями пары T_+, T_- и T_0 необходим поворот одного из магнитных моментов пары вокруг горизонтальной оси

В общем случае при столкновении двух парамагнитных частиц R_1 и R_2 (которыми могут быть свободные радикалы или ионы-радикалы) образуются как синглентные, так и триплетные продукты реакции. Но и при этом, если вероятности образования продуктов реакции по синглетному и по триплетному пути различаются, изменение относительной ориентации магнитных моментов в паре сталкивающихся частиц приведет к "переключению" путей реакции и, следовательно, к изменению выхода продуктов реакции по каждому пути.

С учетом изложенного правильной постановкой вопроса о влиянии МП на скорость реакции была бы, например, такая: может ли внешнее МП изменить ориентацию магнитных моментов сталкивающихся частиц друг относительно друга? И в ответе на этот вопрос мы подойдем к самой сути теории влияния МП на скорость реакции.

Образование пар радикалов. Поскольку существенная ориентация магнитных моментов частиц, находящихся в МП при комнатной температуре, отсутствует и встречи частиц происходят случайным образом, то синглетные и триплетные пары будут образовываться с вероятностями, относящимися как 1:3. Рассмотрим судьбу частицы, вошедшей в состав триплетной пары. Пос-

ле столкновения, в котором не образовался продукт реакции, эта частица имеет определенную вероятность сделать вторую попытку вступить в реакцию, что может произойти только в конденсированной фазе или в плотном газе, где частицы не разлетаются после столкновения на большие расстояния. Понять это проще всего на примере жидкого раствора, рассматривая ближайшее окружение радикала – молекулы растворителя как стенки своеобразной клетки. Попав в нее, второй радикал вступит в реакцию, если этому не препятствует закон сохранения спина. В противном случае он некоторое время "проживет" в клетке, вступая повторно в контакты с другим радикалом в клетке, а затем покинет ее, если и при повторных попытках реакция не произойдет. Строгое рассмотрение диффузии частиц показывает, что повторные контакты внутри одной и той же пары частиц происходят с большой вероятностью даже после значительного расхождения их в пространстве. Поскольку радикалы, образующие синглетные пары, исчезают в реакции, то в рассматриваемой нами системе будут преобладать триплетные пары, имеющие большее время жизни. Таким образом, оказывается, что химическая реакция между радикалами способна создать неравновесную, избыточную концентрацию триплетных пар парамагнитных частиц, не способных участвовать в реакции (как в нашем примере с H_2). Говорят, что пары стали поляризованными, а поляризация наведена химической реакцией. Условием появления поляризации является неодинаковая вероятность реакции в парах различной мультиплетности.

В течение какого времени могут существовать такие поляризованные пары, не переходя в равновесное состояние (в котором соотношение концентраций синглетных и триплетных пар должно быть 1:3)? Это время зависит от скорости передачи энергии от теплового движения молекул на спиновые степени свободы (т.е. к магнитным моментам) и называется временем спин-решеточной релаксации. Типичные времена релаксации спинов T_1 для молекулярных твердых тел и жидкостей лежат в диапазоне 10^{-6}–10^{-8} с. Если время жизни пары τ много меньше, чем T_1, то тепловое движение не успеет оказать влияния на ее магнитное состояние – магнитные моменты частиц пары либо сохраняют свою ориентацию относительно друг друга неизменной, либо изменяют ее по внутренним причинам, не связанным с взаимодействием с другими молекулами. Оказалось, что условие изолированности магнитных моментов пар от теплового движения, $\tau \ll T_1$, действительно выполняется для многих систем. Величина τ может быть оценена как время диффузии радикала на расстояние, равное радиусу r реакции: $\tau \simeq r^2/4D$. При типичном для больших радикалов значении r = 0,6 нм и коэффициенте диффузии $D = 10^{-6}$ см^2/с $\tau \simeq 10^{-9}$ с. Для атомов H это время было бы, конечно, много меньше.

Таким образом, в рассматриваемой системе, состоящей из свободных радикалов в растворе, ход химической реакции создает избыточную концентрацию пар парамагнитных частиц, магнитные моменты которых в течение всего времени жизни пар не имеют связи с тепловым движением. Теперь устранен главный конкурент действию внешнего МП – тепловое движение.

Эволюция спинового состояния поляризованных пар. Судьба триплетных пар – тех, которые не могут принять участия в реакции из-за запрета образования триплетных продуктов, может быть коренным образом изменена, если суметь за время жизни пары изменить относительную ориентацию спинов – тогда при очередном повторном контакте реакция произойдет. Внешнее магнитное поле может помочь в этом.

Рассмотрим поведение магнитных моментов радикалов R_1 и R_2, входящих в пару частиц, при наложении внешнего МП. Как показано на рис. 32, каждый из магнитных моментов в МП прецесоирует вокруг оси, совпадающей с его направлением. Если круговые скорости прецеосих магнитных моментов пары различны, то, как нетрудно видеть, синглетное S и одно из триплетных состояний, T_0, будут периодически переходить друг в друга. Скорость прецесоии вычисляется по формуле $\omega = MH/\hbar$. Предположим, что магнитные моменты $M_1 \neq M_2$ и $M_1 - M_2 = \Delta M$, тогда время, за которое одно состояние перейдет в другое – время эволюции спинового состояния, может быть оценено как

$$t \simeq \frac{1}{\Delta\omega} = \frac{\hbar}{\Delta MH} .$$

Если время τ лежит в интервале $t \lesssim \tau \ll T_1$, то внешнее МП сможет изменить мультиплетность пары: из триплетной сделает ее синглетной и, следовательно, позволит частицам пары вступить в реакцию. В реакции рекомбинации свободных радикалов $\dot{R}_1 + \dot{R}_2 \rightarrow {}^1(R_1R_2)$, в которой триплетные продукты реакции отсутствуют, наложение МП приведет, согласно рассмотренному механизму, к увеличению скорости образования синглетных продуктов реакции ${}^1(R_1R_2)$ примерно вдвое. Различие магнитных моментов радикалов обычно вызывается тем, что g-факторы радикалов $\dot{R}_1$ и $\dot{R}_2$ различны. Поэтому рассмотренный способ смешивания синглетных и триплетных состояний пары называется Δg-механизмом.

Различие в прецессии магнитных моментов радикалов, обладающих магнитными ядрами, например протонами, может вызываться действием МП, обусловленных самими ядрами. В этом случае взаимодействие магнитных моментов электрона и ядра (так называемое сверхтонкое взаимодействие) обусловливает синглет-триплетную эволюцию пары и в отсутствие внешнего МП. Наложение внешнего поля при этом снижает вероятность перехода, что также проявляется как изменение выхода продуктов реакции. Соответствующий механизм называется механизмом сверхтонкого взаимодействия (СТВ). Действующее внешнее МП должно быть соизмеримым со сверхтонким расщеплением ($B \gtrsim$ 1–10 мТл).

Таким образом, мы переходим к выводу, что реакции в принципе могут быть чувствительными как к внешнему МП, так и к внутренним магнитным полям, лежащим в диапазоне 1–100 мТл. Будет ли скорость каждой конкретной реакции зависеть от МП, каков диапазон полей, оказывающих влияние на ход реакции, и сильно ли изменится выход продуктов, опреде-

ляется многими условиями, главные из которых следующие:

1) в ходе реакции должна образовываться и участвовать в реакции пара парамагнитных частиц;

2) реакция в паре должна идти по крайней мере по двум конкурирующим каналам, приводящим к разным продуктам реакции. Выбор канала должен зависеть от мультиплетности пары парамагнитных частиц;

3) скорооти реакций пар по различным каналам должны различаться - это приведет к необратимой поляризации пар;

4) время жизни пар парамагнитных частиц должно быть достаточно большим, чтобы магнитные моменты пары имели возможность "эволюционировать" в МП и изменять мультиплетность пары. Нельзя, например, ожидать, что это условие будет выполнено для пар атомов H в растворе: из-за большой подвижности атомов H время жизни пар τ будет меньше времени эволюции t;

5) время жизни пар должно быть меньше времени спин-решеточной релаксации.

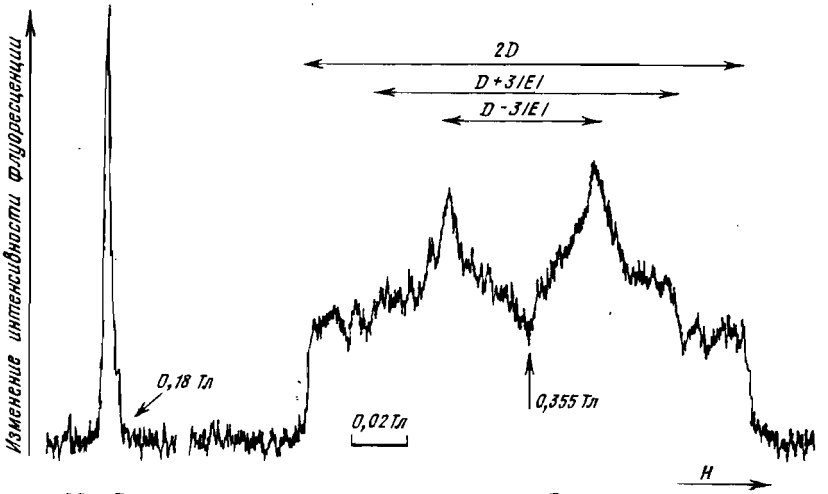
Напряженность (индукция) МП, оказывающего влияние на ход процесса, зависит от конкретных характеристик пары радикалов. Так, при Δg -механизме для пар с временем жизни 10^{-7} с и $\Delta g = 10^{-3}$ магнитный эффект, т.е. изменение скорости реакции на величину порядка десятка процентов, может ожидаться при $B \simeq 0{,}1$ Тл. При СТВ-механизме для таких же пар эффект может быть в полях, соизмеримых с теми, что создают магнитные ядра на электронной оболочке, т.е. в диапазоне 1-10 мТл. Максимальная величина эффекта зависит от той роли, которую играют пары в полной схеме реакции. Обычно относительная величина изменения выхода реакции не превышает 30%. Наибольшая чувствительность наблюдалась в фотохимической реакции в молекулярном кристалле - рубрене, где выход возбужденных состояний, детектируемый по флуоресценции, изменялся в области малых полей на 1% на 0,1 мТл [6].

Мы рассмотрели примеры реакций с участием свободных радикалов, т.е. частиц со спином 1/2. Но существует обширный класс процессов, в которых пара образуется частицами со спином 1 или частицами со спином 1/2 и 1. Типичным примером является столкновение двух триплетных возбужденных молекул с передачей возбуждения на одну молекулу, возбуждаемую в синглетное состояние:

$$^3M^* + {}^3M \rightarrow {}^1M^* + M_0.$$

В этом случае, как и в радикальной паре, эффективными являются только те столкновения молекул, в которых суммарный магнитный момент частиц равен нулю. Эволюция магнитных моментов под влиянием МП в тех парах, которые не дали синглетного продукта при первом контакте молекул, приводит к зависимости скорости реакции от внешнего МП.

Важные классы магниточувствительных реакций - реакции взаимодействия триплетных возбужденных молекул с молекулярным кислородом и реакции гашения триплетных возбужденных состояний радикалами.



Р и с. 33. Спектр магнитно-резонансного воздействия на пары триплетных возбужденных молекул с временем жизни $6 \cdot 10^{-9}$ с

Спектр зарегистрирован по резонансному изменению скорости реакции аннигиляции триплетных возбужденных молекул с образованием синглетных возбужденных молекул. Реакция $T + T \rightarrow S$ проводилась возбужденным светом в поликристаллическом образце при комнатной температуре [8]

Магнитно-резонансное влияние на скорости реакций. До сих пор мы рассматривали механизм действия постоянного МП. В рамках той же схемы не представляет труда понять происхождение и магнитно-резонансных эффектов. Действительно, вернемся к рис. 32, где показаны возможные ориентации магнитных моментов во внешнем МП. Можно видеть, что переход триплетной пары в синглетную произойдет, если один из магнитных моментов изменит свою ориентацию на противоположную, что связано с изменением энергии этого магнитного момента на величину $\Delta E = g \beta_{ал} \cdot H$.

Если подавать на систему магнитных моментов поток электромагнитной энергии с квантами $h\nu = \Delta E$, то можно ожидать, что при их поглощении будет происходить переориентация магнитных моментов. А если эти магнитные моменты находятся в парах, то это эквивалентно превращению триплетных пар в синглетные, и наоборот, синглетных – в триплетные. Но такие превращения, как уже было показано, "переключают" каналы реакции и влияют на выход продуктов. Следовательно, можно осуществить метод, в котором скорость реакции зависит от резонансного поглощения электромагнитной энергии.

Резонансное поглощение электромагнитной энергии широко используется в химии для регистрации свободных радикалов. На этом принципе основан известный метод электронного парамагнитного резонанса (метод ЭПР). В нашем случае те же переходы, но в радикалах, находящихся в парах, вы-

зывают изменение скорости реакции. Это дало возможность создать новый метод магнитного резонанса, в котором непосредственно измеряется не убыль энергии ЭМП, идущей на поглощение, а тот результат, который вызвало это поглощение – изменение выхода реакции [7, 8]. При этом, естественно, получается спектр поглощения (спектр ЭПР) радикалов, находящихся только в парах, т.е. живущих время, меньшее времени спин-решеточной релаксации – около 10^{-8} с. Чувствительность этого метода столь высока, что удается зарегистрировать спектр от 10^{2}–10^{5} пар, стационарно присутствующих в образце. Отметим, что чувствительность обычного спектрометра ЭПР составляет 10^{10}–10^{12} радикалов в образце. На рис. 33 приведен один из спектров магнитно-резонансного воздействия на выход реакции пар триплетных частиц в молекулярном кристалле. Продуктом реакции здесь были возбужденные молекулы, зарегистрировать которые удалось по их флуоресценции.

Конечно, относительная величина изменения выхода продуктов реакции под действием резонансного ЭМП невелика – в лучшем случае она достигает 1%. Но при использовании "удобных" параметров для измерения выхода, таких, как интенсивность свечения, оптическое поглощение, электропроводность и т.д., получающийся спектр дает такую же информацию о промежуточных радикалах в парах, какая могла бы быть получена методом ЭПР для долгоживущих радикалов.

Влияние МП в диапазоне 1–100 мТл на скорость спиново-селективных процессов, принцип которого был рассмотрен в этом разделе, послужило основой для создания новых методов исследования механизма таких процессов. Для использования магнитных эффектов сравнительно небольшая их величина не является принципиальным препятствием. Вопрос о том, существенно ли подобное влияние для протекания биологических процессов, пока остается открытым. Исследования в этом направлении только начинаются на модельных системах. Это же относится к возможности использования влияния МП на спиновое состояние пары частиц в целях управления какими-либо технологическими процессами.

Рассмотренный механизм не дает оснований ожидать существенного влияния магнитных полей, меньших полей диапазона ($B < 0{,}1$ мТл). Можно, конечно, ожидать усиления влияния в условиях, когда константа скорости, изменившаяся под действием МП, войдет, например, в показатель экспоненты (аналогично выражению для скорости цепных реакций) или в другую функцию, чувствительную к малым изменениям аргумента. Однако экспериментальных примеров такого рода пока нет.

Что же касается влияния МП на живые организмы, то в таких сложных системах при интерпретации наблюдаемых эффектов нельзя, по-видимому, ограничиться привлечением механизма, основанного только на эволюции спинового состояния пар парамагнитных частиц.

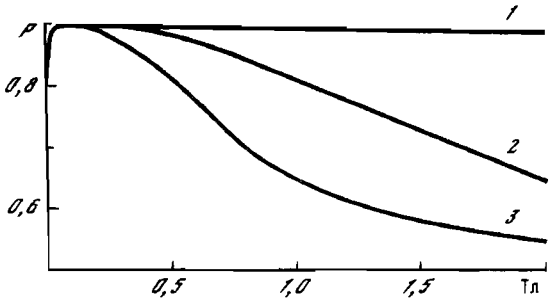
Литература
1. Дорфман Я.Г. Магнетохимия. – Краткая химическая энциклопедия. М., 1963, т. 2, с. 1003.
2. Франкевич Е.Л., Балабанов Е.И. Новый эффект увеличения фотопроводимости органических полупроводников в слабом магнитном поле. – Письма в ЖЭТФ, 1965, т. 1, вып. 6, с. 33–36.
3. Соколик И.А., Франкевич Е.Л. Влияние магнитных полей на фотопроцессы в органичеоких твердых телах (обзор). – УФН, 1973, т. 111, вып. 2, с. 261–288.
4. Сагдеев Р.З., Салихов К.М., Лешина Т.В., Камха М.А., Шейн С.М., Молин Ю.Н. Влияние магнитного поля на радикальные реакции. – Письма в ЖЭТФ, 1972, т. 16, с. 599–602.
5. Бучаченко А.Л., Сагдеев Р.З., Салихов К.М. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1978. 294 с.
6. Румянцев Б.М., Леонн В.И., Франкевич Е.Л. Влияние магнитного поля на интенсивность флуоресценции рубрена в присутствии примесей. – Химия высоких энергий, 1978, т. 12, № 1, с. 42–47.
7. Франкевич Е.Л., Приотупа А.И., Лесин В.И. Магнитный резонанс промежуточных комплексов, детектируемый по изменению скорости реакции в молекулярных кристаллах. – ДАН СССР, 1977, т. 234, № 5, с. 1140–1144.
8. Франкевич Е.Л. Магнитные поля и скорость реакции. – Вестн. АН СССР, 1978, № 2, с. 80–92.

2.2. Молекулярные механизмы влияния магнитного поля на радикальные реакции в растворах

В основе влияния МП на скорости радикальных реакций лежит предпосылка, что МП меняет скорость переходов между реакционным (синглетным) и нереакционным (триплетным) состоянием радикальных пар (РП). Эти переходы (так называемая интеркомбинационная конверсия в РП) согласно существующим предотавлениям могут вызываться как электрон-ядерным сверхтонким взаимодействием (СТВ-механизм), так и различием энергии взаимодействия магнитных моментов радикала о внешним МП $\Delta g \beta H$[1] (Δg -механизм). Оба этих механизма сводятся к тому, что частоты прецесоии двух электронных спинов будут различаться. Сверхтонкое взаимодействие заключается в том, что магнитные ядра, входящие в состав радикалов, создают внутреннее МП, действующее наряду о внешним на электронные спины. Вследствие этого эффективное МП и, следовательно, частоты прецессии различны для электронных опинов в РП. Приведенные качеотвенные рассуждения подтверждаются строгими теоретическими расчетами [1].

Кривые ($\Delta g = 0$) носят S -образный характер о переходной областью

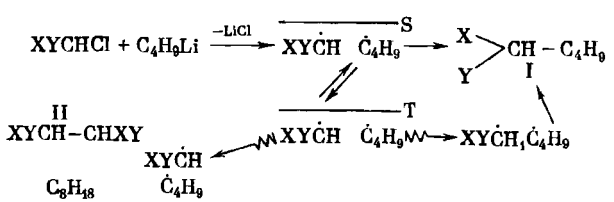
[1] Δg -различие g -факторов парамагнитных частиц в РП; β – магнетон Бора

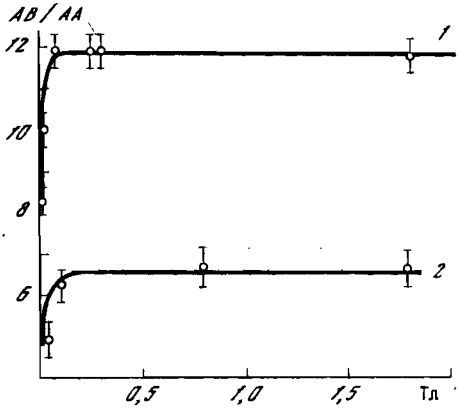


Р и с. 34. Зависимость вероятности рекомбинации Р (для однотипной РП) от величины МП, рассчитанная для S - предшественника при $\tau = 10^{-9}$ с; СТВ = 6 мТл; I - $\Delta g = 0$; 2 - $\Delta g = 5 \cdot 10^{-3}$; 3 - $\Delta g = 10^{-2}$

при напряженности внешнего поля равной внутреннему, создаваемому магнитными ядрами. Для Δg-механизма (при $\Delta g \neq 0$, $A = 0$) кривые носят монотонный характер (рис. 34). Как следует из рис. 34, знак эффекта зависит от исходной мультиплетности РП. Теория показывает, что характерными параметрами, определяющими величину магнитного эффекта, являются константы СТВ, величины Δg и время жизни РП. Константы СТВ в органических радикалах редко превышают несколько единиц миллитесл, типичный интервал значений Δg = 0,0001-0,01. Время жизни РП определяется диффузионной подвижностью радикалов пары и, следовательно, зависит от размера радикалов, вязкости растворителя и температуры реакции. Уменьшение подвижности радикалов должно приводить к увеличению влияния МП на рекомбинацию радикалов. Теоретические оценки показывают, что заметных эффектов можно ожидать в невязких жидкостях ($\tau \sim 10^{-11}$ с) только при высоких значениях МП (единицы тесл) или аномально больших константах СТВ. Однако следует иметь в виду, что в парах, содержащих парамагнитные ионы, Δg достигает большой величины (до нескольких единиц). Такие пары характерны для биохимических окислительно-восстановительных реакций. В этом случае и слабые поля (1-10 мТл) могут оказывать заметное влияние.

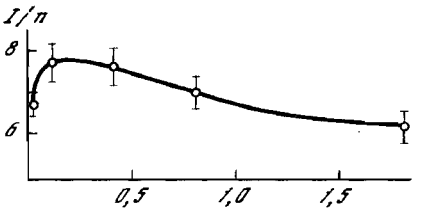
Химические реакции. Иллюстритуем рассмотренные выше механизмы несколькими примерами химических реакций. СТВ и Δg-механизмы /2,3/ впервые были обнаружены в одном классе радикальных химических реакций: в реакциях галоидорганических соединений общей формулой (ХУ СНСℓ, где Х = р-Г-C_6H_4, У = Сℓ; Х = C_6F_5; У = Н; Х = У = C_6F_5; Х = C_6H_5; У = Н) с литийорганическими (C_4H_9Li, C_3H_7Li и т.д.). В этом классе реакций первым актом является перенос электрона с литийорганического соединения на галоидорганическое с отщеплением молекулы хлористого лития. При этом образуется радикальная пара соответствующих органических свободных радикалов в синглетном электронном состоянии (см. схему).



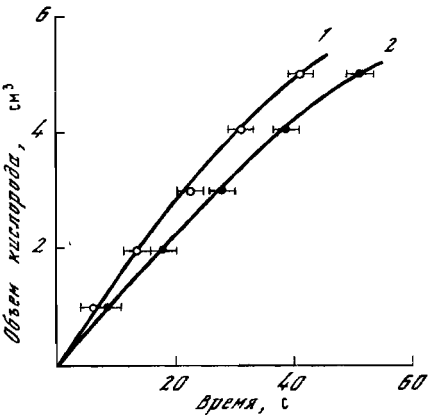


Р и с. 35. Зависимость соотношения основных продуктов реакции пентафторбензилхлорида (I) и парафторбензилхлорида (2) с бутиллитием от МП

Образовавшиеся радикалы частично рекомбинируют в исходном синглетном состоянии с образованием неосимметричного продукта (I), частично диффундируют в раствор и под влиянием магнитных взаимодействий в РП могут перейти в триплетное электронное состояние. В последнем случае, согласно спиновому запрету, радикалы не могут рекомбинировать и тоже диффундируют в раствор. В растворе радикалы в результате столкновений с молекулами среды (в данных экспериментах среда – углеводороды) теряют спиновую корреляцию и образуют новые радикальные пары с обычным статистическим распределением 1/4 синглетных и 3/4 триплетных РП. В результате рекомбинации радикалов в растворе в соответствии со статистикой столкновений могут образоваться как несимметричный продукт, так и симметричные продукты рекомбинации двух одинаковых радикалов. Таким образом, видно, что при проведении реакции в МП, отличающихся от земного, может изменяться соотношение несимметричного (I) и симметричного (II) продуктов (I/II), поскольку МП меняет скорость S–T-конверсии и, следовательно, долю реакционноспособного синглетного состояния. Необходимо отметить, что последнее справедливо при условии, что скорость S–T-конверсии сопоставима со скоростью рекомбинации свободных радикалов. Для рассмотренной реакции это условие выполняется. Действительно, при проведении реакции $C_6F_5CH_2Cl$, $C_6H_5CH_2Cl$ и p-$FC_6H_4CH_2Cl$ с бутиллитием соотношение продуктов I/II увеличивается с ростом напряженности МП (рис. 35). Этот эффект качественно и количественно описывается рассмотренной выше СТВ-моделью влияния МП. В синглетной РП в результате сверхтонкого взаимодействия спинов ядер со спинами электронов в слабых МП происходит смешивание синглетного и всех трех триплетных состояний, а в сильных полях – только S и T_0 состояний. Соответственно вероятность рекомбинации исходной РП с образованием продукта (I) в слабых полях меньше по сравнению с сильными, что и находит отражение в увеличении соотношения I/II с ростом МП. В реакции $(C_6F_5)_2CHCl$ с C_4H_9Li наряду с СТВ проявляется и Δg-механизм влияния МП. Последнее связано с наличием в РП $\overset{\cdot}{(C_6F_5)_2CH}$ $\overset{\cdot}{C_4H_9}$ заметной разницы g-факторов. С рос-



Р и с. 36. Зависимость соотношения основных продуктов реакции декафторбифенилхлорметана с бутиллитием C_4H_9Li от МП

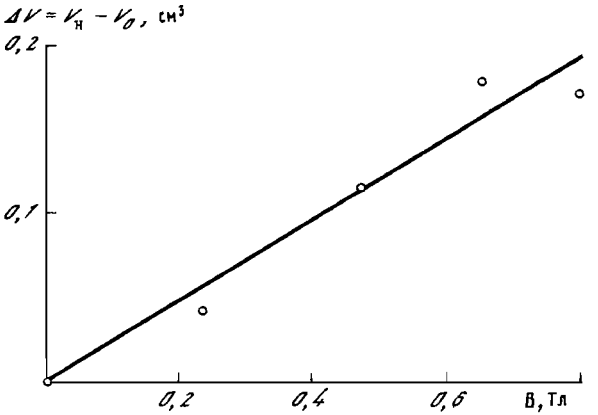


Р и с. 37. Кинетические кривые выделения кислорода в реакции разложения H_2O_2 в присутствии фермента каталазы в МП 0,65 Тл (I) и в ГМП 0,05 мТл (2)

том напряженности МП пропорционально величине $\Delta g \beta H$ возрастает скорость S -T_0-конверсии и, соответственно, уменьшается величина I/II (рис. 36).

Как видно из рис. 37, 38, максимальные эффекты МП в исследованных реакциях достигают 40%. Такие значительные величины изменения соотношения продуктов ствечают ситуации сравнительно долгоживущих РП с $\tau \sim 10^{-9}$ с, тогда как обычное время элементарного акта в химических реакциях 10^{-11}-10^{-12} с. Удлинение времени жизни, по-видимому, связано с тем, что в этом классе реакции участвуют не индивидуальные бензильный и бутильный радикалы, а большие частицы, ассоциированные с гексамером бутиллития. Известно [4], что бутиллитий в углеводородных растворителях существует в виде гексамера. Таким образом, в реакциях галоидорганических соединений с литийорганическими реализуются условия, наиболее благоприятные для наблюдения эффекта влияния МП: величины $A \times \tau$ и $\Delta g \beta H \times \tau$ порядка I. Следовательно, для того, чтобы создать благоприятные условия, необходимо иметь в реакции либо большое время жизни РП, либо значительные величины A и Δg. Время жизни можно увеличить либо увеличивая вязкость растворителя, либо уменьшая температуру проведения реакции.

Заметные эффекты МП можно ожидать, например, для реакций с участием оловоорганических, германийорганических или других элементоорганических радикалов [5]. Если параметры СТВ и Δg невелики, большие эффекты можно получить также в случае, если реагирующие частицы удерживаются вблизи друг друга за счет каких-либо специфических взаимодействий (на-



Р и с. 38. Зависимость эффекта МП ($\Delta V = V_н - V_0$) в реакции разложения H_2O_2 каталазой от МП

пример, электростатики). В обзоре [3] собраны сведения об эффектах магнитного поля, зарегистрированных в разных классах фотохимических, радиационнохимических реакций и фотофизических процессов.

Изложенные соображения указывают на то, что заметных по величине эффектов МП можно ожидать в биохимических реакциях, в которых участвуют большие частицы, зачастую обладающие гораздо меньшим числом степеней свободы, чем свободные радикалы в химических реакциях. Особенно перспективными в этом плане представляются ферментативные окислительно-восстановительные реакции, так как многие ферменты содержат в активном центре ионы металлов переменной валентности. Поскольку одним из элементарных актов в таких реакциях в ряде случаев может быть перенос электрона, можно рассчитывать на образование пары парамагнитных частиц, т.е. на наличие "магниточувствительной" стадии в реакции.

Биохимические реакции. В настоящее время уже имеется несколько примеров объяснения эффектов магнитного поля, зарегистрированных в ферментативных окислительно-восстановительных реакциях с позиций рассмотренных выше механизмов.

Так, изучено [6] действие постоянного МП (B = 0,05–850 мТл) на скорость разложения перекиси водорода каталазой и димерным комплексом Fe^{3+} – ЭДТА, обладающим каталазной активностью. Обнаружено, что с ростом напряженности МП ускоряется выделение кислорода в исследуемой реакции (рис. 37). Максимальный эффект составляет 25%. Авторы сделали попытку объяснить эффект влиянием МП на интеркомбинационные переходы в промежуточных РП. Действительно, для того, чтобы из H_2O_2 образовалась молекула кислорода, в этой реакции необходимо передать два электрона какому-нибудь акцептору. Таким акцептором может быть Fe^{3+}, расположенный в активном центре каталазы, а также в комплексе Fe^{3+} (ЭДТА)$_2$. При этом оба электрона могут переноситься одновременно (синхронный механизм), так как имеется 2 атома Fe^{3+} в комплексе и 4 в молекуле фер-

мента, или последовательно (радикальный механизм). В последнем случае образуются 2 пары парамагнитных частиц (РП) согласно схеме

$$2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$$

$$\left[Fe^{3+}(\text{ЭДТА})\right]_2 + HO_2 \xrightarrow{-H} \overbrace{Fe^{2+}\,O_2^{\cdot-}}^{\text{РП-1}}\,\overbrace{Fe^{3+}}^{\text{РП-2}} \longrightarrow \left[Fe^{2+}(\text{ЭДТА})\right]_2 + O_2.$$

$$(\text{ЭДТА})_2$$

В обоих случаях в реакции имеется спиновый запрет, т.е. не все электронные конфигурации $Fe^{3+} - O_2^{2-} - Fe^{3+}$ или $Fe^{3+} + O_2^{-}$ являются реакционноспособными [6]. Следовательно, можно предположить, что МП, вызывая интеркомбинационные переходы между различными конфигурациями, изменяет долю реакционноспособного состояния. Изучение зависимости магнитных эффектов от напряженности МП показало, что процессом, связывающим электронные состояния является Δg -механизм (см. рис. 38). Действительно, в РП $Fe^{3+} - O_2^{\cdot-}$ значение Δg достигает 2, что по крайней мере на три порядка больше аналогичных величин в обычных радикальных химических реакциях. Отсюда следует, что эффекты влияния поля в биохимических реакциях с участием парамагнитных ионов типа Fe^{3+} можно наблюдать уже в МП $B \backsim 0{,}01$–$0{,}1$ Тл.

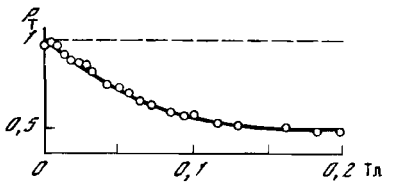
В литературе [7] есть также пример реализации СТВ-механизма влияния МП на одну из стадий бактериального фотосинтеза. Наложение МП $B = 1$ Тл уменьшает на 40% выход триплетно-возбужденных молекул бактериохлорофилла, возникающих по следующей схеме:

$$P\text{-}870 \underset{}{\overset{A,h\nu}{\rightleftharpoons}} P\text{-}870^{+\cdot}A^{-\cdot} \overset{\text{МП}}{\underset{S}{\rightleftharpoons}} \underset{T}{P\text{-}870^{+\cdot}A^{-\cdot}} \longrightarrow P\text{-}870^{T}A^{-\cdot}$$

где Р-870 – пигмент; А – акцептор электрона.

После импульсного облучения фотохимического реакционного центра, содержащего пигмент Р-870 [7], измеряется спектр поглощения триплетно-возбужденного Р-870, который образуется в результате синглет-триплетной конверсии первичной синглетной пары. Характер полевой зависимости выхода триплетных молекул (рис. 39) соответствует СТВ-механизму влияния МП. Выход триплетов уменьшается с ростом напряженности МП в соответствии с уменьшением числа каналов S–T-конверсии при переходе от слабого поля ($S \leftrightarrow T_0$, T_+, T_-) к сильному (только $S \leftrightarrow T_0$-конверсия).

Суммируя, можно сделать вывод, что в настоящее время имеются надежные экспериментальные доказательства влияния МП на реакции с участием свободных радикалов, а также теории, описывающая это явление. Анализ теории и экспериментальных данных показывает, что заметные эффекты могут быть обнаружены в системах, обладающих одной особенностью – суще-



Р и с. 39. Зависимость от МП выхода триплетных молекул в реакции бактериохлорофилла с акцептором электрона

ственно большими, по сравнению с обычными реакциями, временами жизни τ радикальных пар ($\tau \sim 10^{-10}$–10^{-9} с). Отличаются эти системы только типом специфических взаимодействий (электростатическое взаимодействие заряженных частиц или комплексообразование), приводящих к увеличению τ. В других случаях увеличение времени жизни достигается существенным понижением температуры или увеличением вязкости растворителя.

Можно утверждать, что в системах со сравнительно небольшими константами СТВ и небольшими Δg, как и предсказывает теория, существенных величин эффектов следует ожидать в тех случаях, когда времена жизни радикальных пар значительно увеличены за счет какого-либо типа специфических взаимодействий.

Однако можно попытаться предсказать существование ряда систем, в которых даже при временах жизни РП $\tau \sim 10^{-11}$ с возможны значительные эффекты. Это реакции с участием радикалов, имеющих очень большие константы СТВ, например в реакциях с участием оловосодержащих радикалов, где величины констант СТВ на магнитных изотопах олова составляют величину порядка полутора сотен мТл. Существенное различие g-факторов в РП также может позволить наблюдать эффекты МП в системах с обычными τ. Такая ситуация может реализоваться в ферментативных окислительно-восстановительных реакциях, где встречаются значительные величины Δg, позволяющие ожидать проявления магнитных эффектов уже в очень слабых полях (десятков долей миллитесла). Эффекты можно обнаружить и при сравнительно небольшом Δg, но при высоких значениях магнитного поля.

Экспериментальные исследования и развитие теоретических представлений по влиянию МП на радикальные реакции представляют интерес для развития магнитобиологии (на уровне биохимических реакций). Они стимулируют рассмотрение экспериментов с точки зрения обсуждавшихся в обзоре механизмов, проверку ряда предсказаний, следующих из этих механизмов и постановку новых экспериментов на молекулярном уровне.

Важным аспектом является использование эффектов действия МП для обнаружения радикальных стадий в химических и биохимических реакциях. Этот подход может быть эффективным в тех случаях, когда методы электронного парамагнитного резонанса и химической поляризации ядер по тем или иным причинам неприменимы или не обнаруживают радикальных частиц. Наиболее полезным он может оказаться для реакций с так называемыми скрытыми радикальными стадиями, которые могут иметь место, например, в биохимических процессах.

Литература

I. Сарваров Ф.С., Салихов К.М. Влияние магнитного поля на процессы с участием радикалов и триплетных молекул в растворах. – В кн.: Теоретическая и экспериментальная химия, т. II. Киев: Наук. думка, 1975, с.

2. Сагдеев Р.З., Лешина Т.В., Камха М.А. и др. Взаимодействие полифторароматических соединений с серой в присутствии пятифтористой сурьмы. – Изв. АН СССР. Сер. хим., 1972, с. 2128–2129.

3. Сагдеев Р.З., Салихов К.М., Молин Ю.Н. Влияние магнитного поля на процессы с участием радикалов и триплетных молекул в растворах. – Успехи химии, т. 46, № 4, 1977, с. 569–601.

4. Талалаева Т.В., Кочетков К.М. Методы элементоорганической химии. М.: Наука, 1971. 564 с.

5. Бучаченко А.Л., Сагдеев Р.З., Салихов К.М. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях. Новосибирск: Наука, 1978. 296 с.

6. Вайнер Л.М., Подоплелов А.В., Лешина Т.В. и др. Влияние магнитного поля на скорость разложения H_2O_2 каталазой и комплексом ЭДТА с Fe^{3+}. – Биофизика, т. 23, вып. 2, 1978, с. 234–241.

7. Blankenship R., Schaafsma T., Parson W. BBA, 461, 1977

2.3. Возможная роль электрически неравновесных состояний в механизме биоусиления

За последние годы усилилось внимание исследователей к изучению влияния электрических и магнитных полей на компоненты живых систем. Под действием ЭМП различных частотных диапазонов наблюдалось изменение оптических свойств белков и замедление ферментативной активности живых систем и их компонентов /1,2/, а также снижение электрофоретической подвижности и поверхностного потенциала форменных элементов крови /3/. К аналогичному эффекту приводит обработка клеточной мембраны РНКазой /4/, что, вероятно, обусловливает перестройку структуры нуклеопротеидов, входящих в состав поверхностной мембраны клетки и изменение их контактных свойств под действием различных по природе факторов.

Обнаруженный факт наличия падающих участков на вольтамперных характеристиках биологических мембран и их компонентов наводит на мысль о более значительной роли электрически неустойчивых состояний в работе биологических систем, чем предполагалось ранее. Можно, в частности, допустить, что экспериментально наблюдаемое многими исследователями /5/ биологическое действие слабых ЭМП, близких по напряженностям к естественным полям, объясняется наличием в биологических объектах специфических структур, обладающих высокой чувствительностью к электрическим и магнитным полям. В связи с тем, что живые системы, согласно принципа Бауэра /6/ находятся в состоянии "устойчивого неравновесия", пред-

ставляется целесообразным исследовать простейшие модели этих систем с электрически неравновесными состояниями.

Целью настоящей работы является исследование электрически неустойчивых соотояний, возникающих в биологически активных веществах и биополимерах под действием ЭМП, а также определение возможного биологического значения этих эффектов.

Известно, что наиболее лабильный компонент биомембран – жирные кислоты, особенностью строения которых является мицеллярная структура с числом молекул в мицелле от 80 до 100. Ненасыщенные жирные кислоты в водных растворах склонны к образованию уфасом – бислойных ламеллярных структур, близких по отроению к структурам в эмульсии фосфолипидов [7].

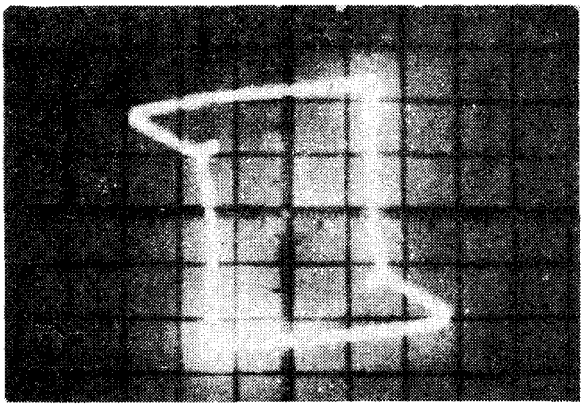
Изучалось влияние ЭМП с частотой менее I МГц на проводимость насыщенных жирных кислот: масляной, валериановой, капроновой, энентовой, каприловой, лауриновой, пальмитиновой. Из ненасыщенных жирных кислот выбрана олеиновая кислота. Исследовались также водные и $NaCl$ растворы различной молярности биополимеров – гемоглобина, желатина, дрожжевой РНК. Электрофизические характеристики пленок толщиной от 0,2 до 30 мкм исследовались в измерительных ячейках типа сандвич с золочеными электродами, зазор между которыми заполнялся исследуемой жидкостью или гелем. Электродами служили изолированные от корпуса наконечники электрометрической установки типа ИКП-3 либо К-6 со стрелочным отсчетным устройством. Толщина межэлектродного зазора в ячейке регулировалась с точностью 0,2–I мкм.

Вольтамперные характеристики (ВАХ) ячейки снимались как на переменном, так и на постоянном токе и регистрировались осциллографом С1-19Б или характериографом ТР-4802. Источником синусоидального напряжения служил генератор Г3-33 для исследования в области частот $20–2 \cdot 10^5$ Гц и ГС-23-в области частот более $2 \cdot 10^5$ Гц. Изменение напряженности ЭМП достигалось либо регулированием толщины пленки, либо изменением напряжения, при этом напряженность варьировалась в пределах от I0 до 10^5 В/см. По изменениям тока и напряжения в ячейке определялась объемная удельная проводимость σ жидкости в слабых и сильных ($E > 10^5$ В/ом) полях, а также зависимость ВАХ от толщины пленки. С целью оценки диэлектрической проницаемости и величины поляризации жидкой пленки снимались частотные зависимости поляризации от поля.

В результате экспериментальных исследований обнаружен ряд нелинейных эффектов: отрицательное сопротивление и механоэлектрические эффекты.

Отрицательное сопротивление (ОС).

Изучение динамических ВАХ показало, что во всех исследованиях органических средах и биополимерах наблюдаётся специфические участки, дифференциальное сопротивление которых отрицательно. Наблюдаемые ОС обычно принадлежат к $\int$-типу /8/, реже встречается N-тип, а также смешанные



Р и с. 40. Осциллограмма зависимости поляризации от напряженности поля (гистерезисная петля), полученная для геля гемоглобина

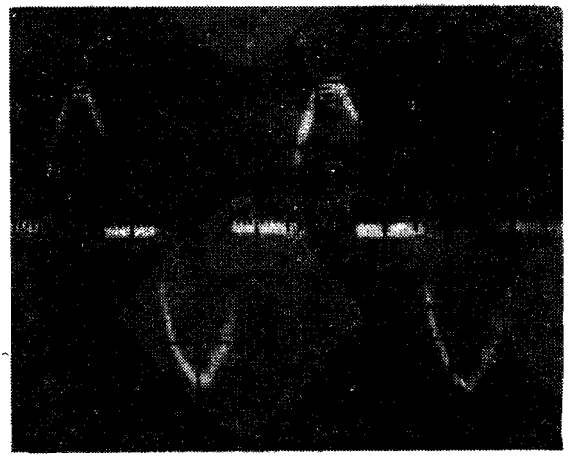
Толщина пленки 6 мкм, частота приложенного поля 1000 Гц

характеристики (РНК 10 г/л в 1 мМ растворе $NaCl$). Наличие характерных нелинейных участков ВАХ и зависимость тока от толщины указывают на ограничение тока пространственным зарядом, локализованным в объеме пленки. Наблюдается также значительная анизотропия электрических свойств. С электрической анизотропией и пространственным зарядом, по-видимому, связана и наблюдаемая нелинейность диэлектрических свойств.

На рис. 40 приведена осциллограмма зависимости поляризации от поля, полученная для пленки геля гемоглобина при частоте наложенного вдоль толщины пленки поля 10^3 Гц. Однако в отличие от обычной петли гистерезиса (наблюдаемой для сегнетоэлектриков и нелинейных диэлектриков и определяющей наличие внутренней спонтанной либо индуцированной поляризации), приведенная на рис. 40 осциллограмма гистерезисной петли имеет отрицательный наклон и, следовательно, дифференциальная диэлектрическая проницаемость ε, определяемая из этой петли, является отрицательной. Плавное увеличение напряжения на пленке до некоторой критической величины приводило, как правило, при небольших толщинах пленки к резкому увеличению на несколько порядков ее проводимости. Под действием ЭП напряженностью $E = 5 \cdot 10^4$ В/см дифференциальная проводимость жирных кислот и гидратированного гемоглобина увеличивалась от $\sigma = 10^{-6}$–10^{-10} Сим/см до $\sigma = 10^{-2}$–10^{-4} Сим/см, для желатина $\sigma = 1{,}7$ Сим/см. Увеличение проводимости после воздействия полем приводило к нелинейному характеру ВАХ уже в полях напряженностью $E = 600$ В/см.

В биополимерах наблюдались низкочастотные колебания тока от 0,5 Гц до 1 кГц, обусловленные существенно неравновесным состоянием систем с ОС (рис. 41). Зависимость проводимости и формы ВАХ от внешних воздействий – электрического поля и механической деформации – устойчиво сохраняется и после отвердевания пленки жидкости.

Уникальным свойством сред с ОС является, как известно, способность



и с. 41. Низкочастотные колебания поля, при которых система переключается из низкоомного в высокоомное состояние (и обратно) для желатина

В точке максимума по оси ординат плотность тока I,2 мА/см^2

усиливать попадающий на них электромагнитный сигнал. Действительно, коэффициент поглощения любой изотропной средой /9/:

$$\alpha = \frac{\sigma}{|\varepsilon|}\mathcal{F}(\varepsilon, f)$$

где $\mathcal{F}(\varepsilon, f)$ – нелинейная функция, зависимая от диэлектрической постоянной среды и частоты f проходящего через среду сигнала ЭМП.

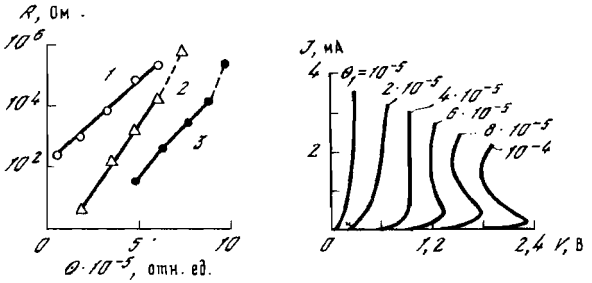
На участке ОС $\sigma < 0$ и, следсвательно, $\alpha < 0$, т.е. имеет место эффект отрицательного поглощения. Это значит, что электромагнитная волна, распространяясь в среде с ОС, не затухает, а нарастает. В наших экспериментах состояние ОС возникало в полях, напряженностью порядка 10^5 В/см (заметим, что напряженности поля в биомембранах, обусловленные электрохимическим градиентом, достигает значений 10^5–10^6 В/см).

Таким образом, отвлекаясь от конкретных механизмов токопереноса, структуры с ОС вследствие наличия внутренней обратной связи можно считать наиболее простыми генераторами и усилителями электрических сигналов.

Механоэлектрические эффекты.

Эксперименты показали, что высокая чувствительность к механическим воздействиям (деформация, давление), возникающая под действием ЭП в жидкофазном состоянии полимеров, сохраняется при переходе в другие агрегатные состояния – гелеобразное и твердое.

Величина механочувствительности оценивалась по экспериментальной характеристике зависимости электросопротивлений R от нагрузки P. Пленка биополимера наносилась при этом на упругую металлизированную подложку, относительная деформация $\mathcal{D}$ которой определялась из выражения $\mathcal{D} = 3ax\Delta y/\ell^3$, где x – расстояние от точки приложения нагрузки до середины пленки, a – расстояние от оси подложки до пленки, ℓ – длина подложки, Δy – величина прогиба подложки при нагрузке.



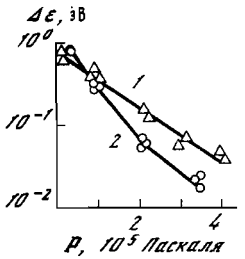
Р и с. 42. Зависимость сопротивления R от деформации растяжения
I – полиэтилен, толщина пленки h = 8 мкм; 2 – майлар, h = 4 мкм; 3 – желатин, h = 4 мкм

Р и с. 43. Вольтамперные характеристики пленки полиэтилена при деформации

На рис. 42 представлены зависимости $R(\theta)$ для различных полимерных структур, предварительно подвергнутых воздействию ЭП. Линейная зависимость в полулогарифмической шкале позволяет описать ее эмпирической формулой $R = R_0 \exp \alpha\theta$, где α – коэффициент механочувствительности, R_0 – сопротивление недеформированной структуры. Величина α, определяемая тангенсом угла наклона кривых, достигает значений 10^5–10^9 отн. ед., что на несколько порядков превышает величину пьезорезистивного эффекта в неорганических материалах /10/.

Природа высокой механочувствительности детально изучена на пленках полимеров, обладающих простым линейным строением – полиэтилена и майлара – в различных агрегатных состояниях. Деформация полимерной пленки приводит к значительному изменению электросопротивления, нелинейности ВАХ и появлению ОС (рис. 43), что указывает на изменение при деформации энергетического спектра системы. Наиболее стабилен и полностью обратим этот эффект на твердых полимерах в диапазоне упругих и высокоэластических деформаций. При деформациях растяжения, превышающих некоторую критическую величину, электросопротивление жидких и твердых пленок резко возрастает, т.е. структура переключается в высокоомное состояние (рис. 43). При небольших деформациях сжатия наблюдается значительное изменение энергии активации электропроводности (рис. 44). В гетерогенных молекулярных структурах с барьерным типом проводимости, которыми являются полимеры и биополимеры, наблюдаемое уменьшение энергии активации эквивалентно сужению межмолекулярных барьеров при сжатии, что приводит к увеличению электропроводности. Увеличение интенсивности полос поглощения в инфракрасных спектрах полиэтилена в диапазоне 1630–1650 $см^{-1}$ указывает на увеличение числа полисопряженных групп молекул с двойными углеродными связями и числа ненасыщенных связей, а, следовательно, на ослабление ряда межмолекулярных связей.

Анализ вольтамперных, вольтемкостных характеристик, пониженная величина энергии активации после воздействия полем, а также зависимость ее от деформации указывают на уменьшение количества межмолекулярных потенциальных барьеров за счет укрупнения областей с полисопряженными связями и разрыхление структуры имеющихся потенциальных барьеров в направлении приложения поля. Последнее и обусловливает высокую механочувствительность и анизотропию электрических свойств. Можно полагать, что ана-



Р и с. 44. Изменение энергии активации пленок при одноосном сжатии Р
I - полиэтилен; 2 - майлар

логичные перестройки структуры имеют место при действии поля на другие органические среды, в частности на биополимеры.

Возникновение состояний с ОС, а также эффекта высокой механочувствительности и сохранение их в различных агрегатных состояниях высокомолекулярных структур представляет интерес как для биологии, так и для физики полимеров и биополимеров. Известно, например, что чистые белки обладают при комнатных температурах значительной энергией активации проводимости, что, согласно /II/, исключает какой-либо тип проводимости кроме экситонной. Однако нами показано, что энергия активации может являться функцией как деформации, так и ЭП. Отсюда следует, что фундаментальные электрофизические параметры в биополимерах являются более лабильными к действию внешних факторов, чем предполагалось ранее /II/.

Следует отметить, что в живой природе известны чрезвычайно чувствительные к механическим воздействиям системы /I2/. Однако механизмы эффектов, обеспечивающих столь высокий выходной сигнал, неясны. Между тем, как в полимерных, так и в биологических структурах наблюдаются общие закономерности - наличие непрерывной кривой отклика вплоть до некоторого порогового значения действующего стимула и ответ по типу "да-нет" выше этой пороговой величины /I3/.

Деформация приводит к непрерывному изменению проводимости структуры, совпадающей при пороговых значениях с участком ОС на вольтамперной характеристике (на рис. 43 восходящая ветвь кривых). При пороговых деформациях наблюдается резкий скачок проводимости и реакция полимерной пленки на нее является дискретной.

Таким образом, результаты исследования выбранных систем, как аналога механорецепторов, могут представить интерес в решении проблемы бис-механоэлектрического преобразования и в создании на базе полимерных пленок чувствительных датчиков деформации.

Аномалии, проявляющиеся после воздействия ЭП распространяются и на диалектическую проницаемость биополимеров. Найденное из кулонвольтных характеристик значение ε достигает для различных веществ десятков и сотен единиц. Наблюдается дисперсия для ε и нелинейная зависимость поляризации от напряженности ЭП, что указывает на значительную роль кооперативных эффектов.

Электрическая нелинейность вольтамперных характеристик и участки с ОС наиболее четко проявляются на частотах порядка 10^6 Гц. Именно в этом интервале частот (10^3–10^6 Гц) наблюдается, как известно, резкое снижение чувствительности живой ткани – токами Д'Арсонваля уже не удается достичь порога раздражения нервных клеток.

Особенности импедансных характеристик биомембран свидетельствуют о том, что в указанном интервале частот биомембраны становятся прозрачными для поля /14/. В этом же интервале частот находится максимум спектра скоростей ферментативных реакций /15/. Следовательно, есть основание полагать, что между действием электрического поля и протекающими в биополемерах химическими реакциями существует взаимосвязь, которая может осуществляться вследствие возможности инициирования физическими факторами (электромагнитное поле, давление и др.) химических реакций в биополемерах.

Если допустить, что качественно новые свойства в пленках органических жидкостей возникают в результате стимулирования полем химических превращений, то его роль может заключаться в обеспечении электронных перестроек, необходимых для протекания реакций, и в создании благоприятного пространственного распределения молекул. Такой подход может дать основание для правильной интерпретации экспериментальных результатов. Действительно, скорость химической реакции определяется известным выражением, эквивалентным закону Аррениуса

$$C = p\frac{\kappa T}{h}\exp\left(-\frac{\Delta \mathcal{F}}{\kappa T}\right) = p\frac{\kappa T}{h}\exp\left[(-\Delta V - T\Delta S)/\kappa T\right] \quad (1)$$

где C – константа реакции, имеющая размерность, обратную времени; $\Delta \mathcal{F}$ – свободная энергия; ΔV – энергия активации; ΔS – энтропия реакции; к – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; h – постоянная Планка.

У обычных реакций в переходном состоянии энтропия, как правило, большая отрицательная величина. Поэтому порядок величины $\angle = \exp \Delta S/к$ менее 10^{-6}–10^{-8}. Однако у каталитических реакций убыль энтропии значительно меньше и величина $\angle$ равна примерно 10^{-1}–10^{-2} /15/. Времена реакций каталитического типа на 15–20 порядков меньше времен обычных реакций. Теоретически этот эффект складывается из увеличения предэкспоненциального множителя и уменьшения энергии активации в выражении (1). Первый вклад учитывается введением p-фактора, который для обычных реакций можно считать равным единице, а для реакций каталитического типа p имеет порядок 10^5–10^6. Ускорение в 10^5 раз и выше получается за счет превращения бимолекулярной реакции в реакцию, не зависящую от столк-

новений. Вклад в 5-6 порядков и увеличение предэкспоненциального множителя по сравнению с обычными реакциями вносится также сравнительно небольшим изменением энтропии при каталитических реакциях.

Используя выражение (I), нетрудно показать, что к экспериментально наблюдаемому увеличению электропроводности будут приводить только реакции каталитического типа с малой убылью энтропии. Однако согласие с экспериментом будет наблюдаться только в том случае, если энтропийный член достаточно велик.

На основе представления с переносе электрона от донорской молекулы к акцепторной с образованием активированного комплекса можно объяснить возникновение в органических средах сильного пьезорезистивного эффекта. В активированном комплексе электрон находится в потенциальной яме, образованной перекрытием Ψ - функций взаимодействующих молекул. Поскольку такая система обладает избыточной свободной энергией, то она должна быть чувствительной к внешним воздействиям.

Анализ результатов эксперимента приводит к заключению, что низкочастотное электромагнитное поле - своеобразный катализатор для протекания в органических средах биохимических реакций с малой убылью энтропии.

Все обнаруженные эффекты, индуцированные внешним электрическим полем, наблюдаются в различных биологических веществах in vitro. Если учесть, однако, что в живых системах, например в биомембранах, существуют поля напряженностью порядка 10^5-10^6 В/см, то естественно допустить возможность реализации рассмотренных эффектов в биополимерных конструкциях живой клетки.

Таким образом, эффект ОС представляет собой электрическое проявление общего биологического принципа устойчивого неравновесия Бауэра, согласно которому живая система функционирует вблизи порога срабатывания. Отсюда следует возможность влияния слабых воздействий (слабых ЭМП) через посредство электрически неустойчивых состояний (состояний ОС) на жизнедеятельность живых систем.

В заключение укажем основные направления, развитию которых, с нашей точки зрения, может способствовать решение исследуемой проблемы биологической роли отрицательных дифференциальных сопротивлений, возникающих под действием ЭМП.

I. При разработке механизмов формирования нервного импульса в биомембранах необходимо учитывать наличие участков ОС. Известно, например, что момент зарождения спайка при возбуждении наблюдается в тех случаях, когда потенциал на мембране совпадает с началом участка ОС /I6/.

Стабильность формы импульса при различных способах запуска также свидетельствует о едином механизме его генерации.

2. Поскольку среды с ОС обладают отрицательным коэффициентом поглощения, волна возбуждения или электрические колебания в них будут усиливаться. С этих позиций перехваты Ранвье можно рассматривать скорее как амплитудные "ограничители", не допускающие чрезмерного усиления возбуж-

дения. Согласно теории распространения электрических колебаний в средах с ОС проходящий по нервному волокну импульс должен создавать динамическое опережающее состояние, поддерживающее волну без затухания. Наличие подобного состояния зарегистрировано в экспериментах /I7,I8/, где показано, что впереди нервного импульса обычно следует еще один сигнал, представляющий /I9/ волну электрофизических изменений в теле нейрона.

3. Взаимодействие со слабыми ЭМП может эффективно осуществляться через посредство электрически неустойчивых состояний с ОС, поскольку среды с ОС являются электро- и магниточувствительными системами.

4. Возникновение отрицательных сопротивлений после обработки полимерных пленок низкочастотным ЭМП послужило основой для разработки метода получения полимеров с новыми свойствами, позволяющими использовать их в качестве активных элементов в приборостроении (генераторов, усилителей, ячеек памяти, чувствительных датчиков механичеоких напряжений /20/). Аналогичные методы могут быть использованы также для иоследования механоэлектрических эффектов в горных породах.

Литература

1. Bach S.A. Biological sensivity to radio frequency and microwave energy. Proc. Ann. Conf. on biologic effects of laser radiation, 1965, vol. 24, No.3, p. 22-26.
2. Чирков М.М. Электромагнитные колебания как фактор, изменяющий отношение организма к действию интероцетивных раздражителей. - В кн.: Некоторые вопросы физиологии и биофизики. Воронеж, I964, с.83-88.
3. Харамоненко С.С., Ракитянская А.А. Электрофорез клеток крови в норме и патологии. Минск: Беларусь, I974. I43 с.
4. Маленков А.Г. Ионный гомеостаз и автономное поведение опухоли. М.: Наука, I976. I7I с.
5. Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, I975. Т.I, 340с.; Т.2, 207 с.; Т.3, 227 с.
6. Бауер Э. Теоретическая биология. Л.: ВИЭМ, I935. 205 с.
7. Ленинджер А. Биохимия. Молекулярные основы структуры и функций клетки. М.: Мир, I974. 957 с.
8. Юрьев В.Н., Преснов В.А. Отрицательное сопротивление в биополиме - рах. - Биофизика, I977, т.22, вып. 2, с. 228-230.
9. Горюнов С.А., Абезгауз И.Д. Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением. М.: Энергия, I972, 3I8 с.
I0. Бонч-Бруевич В.Л., Звягин И.П., Миронов А.Г. Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках. М.: Наука, I972. 4I4 с.
II. Богуславский Л.И., Ванников А.В. Органические полупроводники и биополемеры. М.: Наука, I968. I8I с.
I2. Викулин И.М., Стафеев В.И. Полупроводниковые датчики. М.: Сов. ра - диодио, I975, I05 с.

I3.Ильинский О.Б. Механорецепторы. Вопросы физиологии сенсорных систем. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, I967. 82 с.
I4.Кол К.С. Успехи в разработке электрических моделей клеток и аксонов. В кн.: Вопросы биофизики. М.: Наука, I964, с.87-I02.
I5.Бреслер С.Е. Молекулярная биология. Л.: Наука, I973. 577 с.
I6.Рубин А.Б. Термодинамика биологических процессов. М.: Изд-во МГУ, I976. 240 с.
I7.Ходжкин А. Нервный импульс. М.: Мир, I965. I25 с.
I8.Иванов-Муромский К.А. Электромагнитная биология. Киев: Наук. думка, I97I. I55 с.
I9.Левин С.В. Структурные изменения клеточных мембран. Л.: Наука, I976. 224 с.
20.Юрьев В.Н., Преснов В.А. Механоэлектрические эффекты в полимерах.- ДАН СССР, I978, т. 243, №I, с. I56-I58.

2.4. Действие неоднородного электрического поля на клеточные суспензии

Действие неоднородного переменного ЭП на клеточные суспензии вызывает следующие эффекты: ориентацию асимметричных клеток вдоль или поперек силовых линий поля, образование из них цепочек, направленное перемещение (диэлектрофорез) клеток и их осаждение на электродах, движение водной среды, вращение клеток и другие локальные эффекты вблизи электродов /I-6/. Большинство из них является результатом взаимодействия электрических дипольных моментов клеток друг с другом и с внешним полем. В ряде случаев действие неоднородного ЭП приводит к изменению формы клеток /7/, увеличению проницаемости и обратимому разрыву клеточной мембраны, а также слиянию клеток /8/.

В настоящей работе рассматриваются эффекты электроориентации и диэлектрофореза клеток. Исследование этих эффектов имеет важное значение с точки зрения анализа электрофизических характеристик клеток /3, 4, 9, I0/ и исследования биофизических механизмов действия ЭП на клетки /II, I2/.

Теоретический анализ электроориентации и диэлектрофореза клеток проводился на основе двух подходов. Один из них состоит в том, что клетку, имеющую неоднородное строение, моделируют в виде однородной частицы, эффективные электрические параметры которой выбирают так, чтобы искажение внешнего поля было таким же, как и в случае реальной клетки /I3, I0/. Другой подход заключается в том, что сначала находят ЭП по всех частях неоднородной модели клетки, затем определяют энергию ЭП в различных частях модели, находят общую энергию клетки в ЭП и, наконец, отрицательный градиент энергии, равный действующей на клетку силе /9/. При таком подходе можно оценить вклад любой клеточной структуры в ре-

зультирующий эффект. Однако с помощью такого подхода разработана теория диэлектрофореза только для сферических частиц, так как в случае эллипсоидальных частиц возникают значительные трудности. Используя эффективные электрические параметры клетки, согласно первому подходу, также можно перейти к электрическим параметрам различных клеточных структур на основе математического аппарата, развитого применительно к диэлектрическим измерениям [14].

Для клеток в форме эллипсоидов вращения, ориентированных вдоль силовых линий ЭП, выражение для диэлектрофоретической силы имеет вид [15]:

$$F = \frac{2}{3}\pi ab^2 Re\left[\frac{\tilde{\varepsilon}_1^*(\tilde{\varepsilon}_2 - \tilde{\varepsilon}_1)}{\tilde{\varepsilon}_1 + n_x(\tilde{\varepsilon}_2 - \tilde{\varepsilon}_1)}\right] grad\, E^2, \qquad (1)$$

где a и b – продольная и поперечная полуоси эллипсоида; $\tilde{\varepsilon}_1$ и $\tilde{\varepsilon}_2$ – комплексные диэлектрические факторы среды и частиц [9, 15]; n_x – коэффициент деполяризации эллипсоида [16, с. 43]; E – напряженность ЭП.

Действующий на клетку в ЭП эффективный вращающий момент ($\bar{M}$) сил можно предоставить в виде суммы двух слагаемых [17]. Одно из них определяет вклад в момент электроосмотического скольжения жидкости и существенно только на достаточно низких частотах ($f < D/\pi a^2$; где D – коэффициент диффузии ионов ДЭС) и в случае, если при этом дзета-потенциал ζ клетки удовлетворяет неравенству $th(\zeta/4) \gg 1$. Второе слагаемое определяет момент сил, действующий на клетку с ДЭС, и имеет вид [18]:

$$\bar{M} = Re(\gamma_{II} - \gamma_{\perp}) E^2 \sin\alpha \cdot \cos\alpha, \qquad (2)$$

где α – угол между продольной осью частицы и направлением поля; γ_{II}, $\gamma_{\perp}$ – продольная и поперечная поляризуемость клетки, определяемые выражением:

$$\gamma_{II(\perp)} = \frac{\pi}{3} ab^2 \frac{\tilde{\varepsilon}_1^*(\tilde{\varepsilon}_2 - \tilde{\varepsilon}_1)}{\tilde{\varepsilon}_1 + n_{x(y)}(\tilde{\varepsilon}_2 - \tilde{\varepsilon}_1)}. \qquad (3)$$

В случае бактериальных клеток $th(\zeta/4) \leq 0{,}5$, следовательно, влиянием электроосмотического скольжения жидкости можно пренебречь. Поэтому расчет ориентирующего момента проводили по формуле, полученной на основе выражений (2) и (3):

$$K = \frac{\bar{M}}{E^2 \sin\alpha\cos\alpha} = \frac{\pi}{3} ab^2 \left[\frac{S_1'' S_3'' + S_2'' S_4''}{\nu(S_1'')^2 + (S_2'')^2} - \frac{S_1^{\perp} S_3^{\perp} + S_2^{\perp} S_4^{\perp}}{\nu(S_1^{\perp})^2 + (S_2^{\perp})^2}\right], \qquad (4)$$

где

$$S_1^{''(\perp)} = \varepsilon_1 + n_{x(y)}(\varepsilon_c^{''(\perp)} - \varepsilon_1); \; S_2^{''(\perp)} = \lambda_1 + n_{x(y)}(\lambda_c^{''(\perp)} - \lambda_1);$$

$$S_3^{''(\perp)} = \nu\varepsilon_1(\varepsilon_c^{''(\perp)} - \varepsilon_1) + \lambda_1(\lambda_e^{''(\perp)} - \lambda_1);$$

$$S_4^{''(\perp)} = \varepsilon_1(\lambda_e^{''(\perp)} - \lambda_1) - \lambda_1(\varepsilon_c^{''(\perp)} - \varepsilon_1);$$

$$\nu = (2\pi f \varepsilon_c)^2;$$

ε_1, λ_1 – ДП и удельная проводимость среды; ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума; f – частота ЭП.

Эффективную диэлектрическую постоянную (ДП) ε_e и удельную проводимость λ_e клеток задавали частотнозависимыми с учетом основных релакса-

ционных механизмов электрической поляризации клетки: их α - и β -дисперсии [19]:

$$\varepsilon_e''^{(1)} = \varepsilon_h + \frac{\varepsilon_s''^{(1)} - \varepsilon_m''^{(1)}}{1+(f/f_\alpha''^{(1)})^2} + \frac{\varepsilon_s''^{(1)} - \varepsilon_h}{1+(f/f_\beta)^2}; \quad (5)$$

$$\lambda_e''^{(1)} = \lambda_h + \frac{\lambda_s''^{(1)} - \lambda_m''^{(1)}}{1+(f/f_\alpha''^{(1)})^2} + \frac{\lambda_s''^{(1)} - \lambda_h}{1+(f/f_\beta)^2}, \quad (6)$$

где $\varepsilon_s, \lambda_s, \varepsilon_m, \lambda_m, \varepsilon_h, \lambda_h$ - низко-, средне- и высокочастотные значения эффективной ДП и проводимости клеток; f_α и f_β характеристические частоты α - и β -дисперсии соответственно.

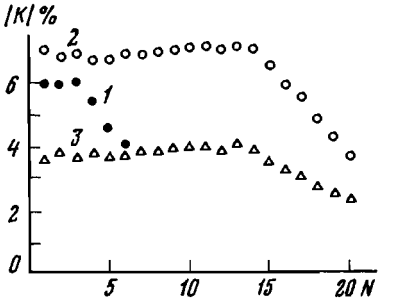
Экспериментальные исследования диэлектрофореза клеток обычно проводились на основе микроскопических методик измерения: 1) по толщине осадка клеток, образовавшегося за определенный промежуток времени на электродах [2, 9]; 2) уравновешивая действующую на отдельную клетку силу тяжести диэлектрофоретической силой [20, 21]; 3) по скорости перемещения клеток в неоднородном ЭП [22].

Под микроскопом, как правило, исследовали и цепеобразование [4], и электроориентацию [23, 24] клеток. Электроориентацию клеток можно также исследовать электрооптическими методами [25-28].

Турбидиметрическая методика регистрации эффектов, возникающих в клеточной суспензии под действием неоднородного ЭП, обеспечивает одновременную регистрацию электроориентации и диэлектрофоретического осаждения клеток [29 - 31]. Эта методика состоит в непрерывной регистрации проходящего через измерительную ячейку светового потока и определении на основе его изменения степени электроориентации и диэлектрофоретического осаждения клеток. По сравнению с исследованием под микроскопом турбидиметрическая методика обеспечивает увеличение точности и информативности измерений, а также возможность их автоматизации.

Изменение оптической плотности суспензии, наблюдающееся при ориентации клеток, обусловлено консервативным дихроизмом [25, 27], поэтому для достижения максимальной чувствительности использовали белый свет [17]. Применение измерительной ячейки с системой решетчатых электродов [32], создающих в объеме суспензии продольное по отношению к направлению светового пучка ЭП, дает возможность использовать неполяризованный свет [27]. Экспериментальная установка [29] представляет собой однолучевой фотометр, обладающий достаточно высокой чувствительностью (0,5% относительного изменения оптической плотности на 1 мВ шкалы регистратора). Обычно использовали двухэлектродную измерительную ячейку с параллельной системой электродов из платиновой проволоки, диаметром $3 \cdot 10^{-4}$ м, при расстоянии между электродами $2,4 \cdot 10^{-4}$ м [32]. Методика приготовления клеточных суспензий и интерпретация регистрируемых сигналов подробно рассмотрены в работах [30, 31].

Электрооптические измерения проводятся в средах с малой ионной силой (удельная проводимость $\lambda_1 \leq 10^{-2}$ Ом$^{-1}$м$^{-1}$). Клетки, имеющие клеточную стенку (дрожжи, бактерии, хлорелла), хорошо переносят такие усло-



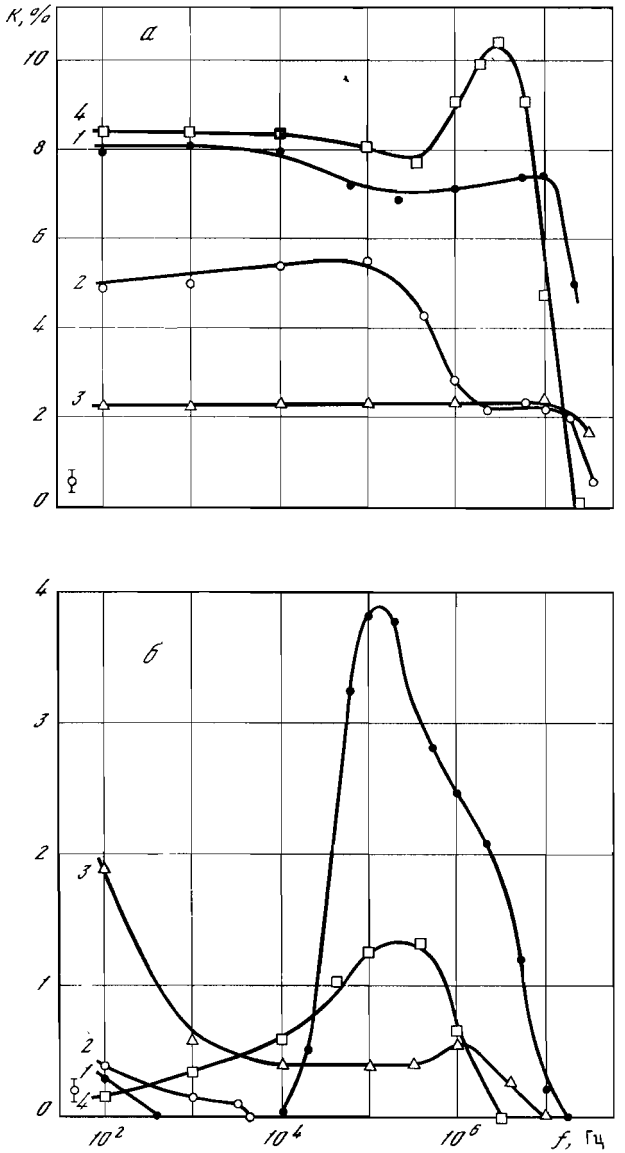
Р и с. 45. Зависимость электроориентации (I,2) и диалектрофоретического осаждения нативных эритроцитов (3) от числа (N) включений ЭП pH 6,8; σ_I = I,2·IO^{-3} Ом$^{-I}$м$^{-I}$; V(в В): I-8, 2,3-25. I-II мас.% раствор сахарозы, 2,3-II мас.% раствор сахарозы с добавлением 0,0I мас.% бычьего альбумина

вия среды. Только под воздействием ЭП частотой свыше IO^7 Гц при напряжении на электродах порядка 40 В в культуре кишечной палочки отмечается 30%-ная потеря жизнеспособности. В случае клеток, не имеющих жесткой клеточной стенки (эритроциты, тромбоциты и т.д.), необходимо обеспечить изотоничноть среды, что достигается применением изотоничных растворов сахарозы (0,25 М), сорбитола и других электронейтральных веществ. При исследовании клеток крови рекомендуется использовать среду, содержащую 90 об.% изотоничеокого раствора глицина (2,I мас.%) и I0 об.% раствора глюкозы (5,5 мас.%) /3/.

Однако даже в изотоничной среде прикладываемое к суспензии неоднородное ЭП может оказывать заметное влияние на эритроциты.

На рис. 45 представлены данные, характеризующие воспроизводимость регистрируемой величины обоих эффектов для нативных эритроцитов в изотоническом растворе сахарозы при повторном включении ЭП (время приложения ЭП составляло I мин) без смены образца в измерительной ячейке. (Осуществлялось только перемешивание суспензии с целью ресуспендирования осадка клеток на электродах.) При напряжении на электродах 25 В эффект электроориентации уменьшался уже при втором включении поля, а при напряжении порядка 8-I0 В этот эффект оникался, начиная с четвертого включения ЭП. При добавлении в среду бычьего лиофилизированного альбумина снижение величины эффектов наблюдалось только после четырнадцати включений ЭП при напряжении 25 В. Хорошее стабилизирующее действие на эритроцитарные суспензии оказывает гепарин, который, кроме того, предотвращает агглютинацию эритроцитов. Следует отметить, что добавление альбумина и гепарина к суспензии нативных эритроцитов практически не изменяет характер частотной зависимости их электроориентации и диалектрофореза. В то время как такие же добавки к суспензии фиксированных эритроцитов могут значительно изменить эту зависимость /30, 3I/.

На рис. 46 представлены частотные зависимости электроориентации (а) и диалектрофоретического осаждения (б) – электроориентационные (ЭО) и диалектрофоретические (ДЭФ) спектры – нативных (I) и фиксированных (2) акролеином эритроцитов кролика, хлореллы (3) и поевдомонад (4). Видно, что спектры зависят от вида клеток и изменяются при их фиксации.

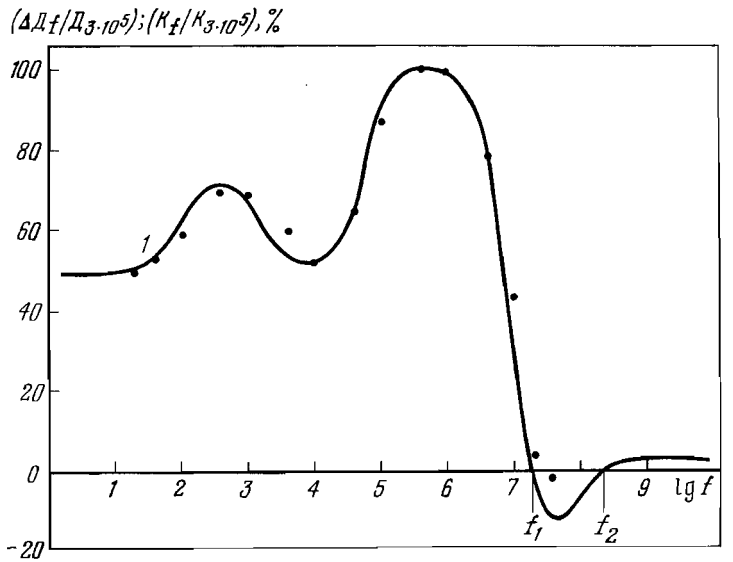


Р и с. 46. Ориентационные (а) и диэлектрофоретические (б) спектры нативных (I) и фиксированных (2) эритроцитов, хлореллы (3) и бактерий (4).

Электропроводность суспензии - 2 10^{-3} $ом^{-1}м^{-1}$. Эффективное напряжение на электродах ячейки 30 В. К - относительное изменение оптической плотности суспензии (в %), f - частота электрического поля (Гц) в логарифмическом масштабе

Строение клеток разных видов характеризуется наличием у них общих структур: клеточной мембраны, цитоплазмы, клеточной стенки и т.д. Кроме того, в водной фазе вблизи клеточной поверхности образуется ДЭС. Вместе с тем разные виды клеток отличаются по форме и размерам, проницаемости клеточной мембраны, концентрации и подвижности свободных ионов в цитоплазме, по строению и составу клеточной стенки и т.д. В соответствии с общностью строения клеток разных видов, их ЭО и ДЭФ спектры характеризуются общими закономерностями: снижение амплитуды ДЭФ спектра в диапазоне 10^2–10^3 Гц; минимум спектральной кривой на частотах около 10^4 Гц и ее максимум на 10^5–10^6 Гц и снижение амплитуды спектральных кривых на частотах выше 10^6 Гц. Индивидуальные особенности данного вида клеток приводят к различиям в характере ЭО и ДЭФ спектров. Так, ЭО спектры эритроцитов характеризуются наличием ступенчатого уменьшения эффекта на частотах 10^4–10^5 Гц для нативных и 10^5–10^6 Гц для фиксированных клеток. Для хлореллы характерна большая величина эффекта в ДЭФ спектре на низких частотах, чем на высоких, а для нативных эритроцитов и псевдомонад напротив – большая величина эффекта на высоких частотах. Следует отметить, что особенности ЭО спектра в килогерцовом диапазоне частот лучше выявляются при значениях электрического напряжения на электродах измерительной ячейки 15–20 В соответствующих линейному участку зависимости эффекта электроориентации от напряжения [31].

С целью объяснения обнаруженных экспериментально особенностей ЭО спектров клеток был выполнен теоретический анализ частотной зависимости ориентирующего момента сил для электрофизической модели кишечных палочек. Для этого по формуле (4) с учетом (5) и (6) на ЭВМ была рассчитана частотная зависимость относительной величины момента для модели клетки, параметры которой выбирали, исходя из литературных данных [14] и соответствия расчетной кривой экспериментальным данным. Как видно из рис. 47, теоретические и экспериментальные данные хорошо соответствуют друг другу. Анализ изменений частотной зависимости ориентирующего момента при вариации параметров электрической модели бактериальной клетки показал, что: 1) увеличение (с ростом частоты) момента на частотах 10–$4 \cdot 10^2$ Гц обусловлено α-дисперсией, а на частотах 10^4–$4 \cdot 10^5$ Гц β-дисперсией электрических параметров клетки; 2) наличие среднечастотного минимума обусловлено тем, что величина момента определяется разностью продольной и поперечной поляризуемости клетки, которые имеют разные характеристические частоты в области α-дисперсии; 3) величина момента и первая частота f_1 переориентации (см. рис. 47) зависят не только от электрических, но и от геометрических параметров модели; вторая частота f_2 переориентации зависит только от электрических параметров; 4) вариация эффективной проводимости и ДП клетки на частотах выше $4 \cdot 10^5$ Гц по-разному влияют на ход частотной зависимости момента: вариация проводимости вызывает сдвиг высокочастотного спада



Р и с. 47. Расчетная кривая зависимости ориентирующего момента сил (в процентах к максимальному значению эффекта на частоте $3 \cdot 10^5$ Гц) от логарифма частоты ЭП; • – экспериментальные точки

момента и частот переориентации, а вариация ДП – значительное изменение величины момента на частотах выше характеристической частоты спада и небольшой сдвиг частот переориентации; 5) с увеличением проводимости (от 10^{-6} до $2 \cdot 10^{-3}$ $Ом^{-1}м^{-1}$) внешней среды при постоянстве проводимости клетки высокочастотный спад момента и частоты переориентации практически не изменяются, в то время как при увеличении проводимоти клетки имеет место их значительный сдвиг в область более высоких частот.

Одновременная регистрация электроориентации и диалектрофореза клеток с помощью турбидиметрической методики измерения позволяет более определенно трактовать особенность обоих спектров. Действительно, из рассмотрения формул (I), (2) и (3) видно, что величина эффекта в ЭО спектре определяется соотношением продольной и поперечной поляризуемостей асимметричных клеток, а в ДЭФ спектре – только величиной продольной поляризуемости. Расчет частотной зависимости диалектрофоретической силы по формуле (I) дает расчетную кривую, которая качественно соответствует ДЭФ спектру только в области мегагерцовых частот: наличие максимума и высокочастотного спада эффекта. В области герцовых и килогерцовых частот теоретические и экспериментальные данные расходятся: ДЭФ спектр с понижением частоты обычно растет, а расчетная кривая понижается. Возможно, что это расхождение связано с тем, что процесс диалектрофоретического осаждения клеток зависит не только от величины диалектрофоретической, но и от влияния на него других эффектов, наблюдающихся в сус-

Таблица 8. Первая частота f_1 переориентации и ее изменение Δf для клеток *E. coli* MRE = 600 в средах с удельной проводимостью $6{,}4 \cdot 10^{-4}$ $Ом^{-1}м^{-1}$ ($f_{1,1}$) и $2{,}3 \cdot 10^{-3}$ $Ом^{-1}м^{-1}$ ($f_{1,2}$) при pH 6,5

Клетки	$f_{1,1}$, Гц	$f_{1,2}$, Гц	Δf, Гц	$(\Delta f / f_{1,1}) 100\%$
Интактные	$1{,}85 \cdot 10^7$	$1{,}95 \cdot 10^7$	10^6	5,4
Автоклавированные (100^0, 10 мин)	$3{,}2 \cdot 10^6$	$5{,}4 \cdot 10^6$	$2{,}2 \cdot 10^6$	68,7
Фикоированные акролеином (1:100, 20 мин)	$2{,}9 \cdot 10^6$	$5{,}6 \cdot 10^6$	$2{,}7 \cdot 10^6$	93
Обработанные толуолом (1:100, 20 мин)	$5{,}2 \cdot 10^6$	$7{,}5 \cdot 10^6$	$2{,}3 \cdot 10^6$	44,3
Обработанные хлороформом (1:100, 20 мин)	$4{,}9 \cdot 10^6$	$7{,}5 \cdot 10^6$	$2{,}6 \cdot 10^6$	53

пензии под действием неоднородного ЭП: цепеобразование, циркуляция жидкости, поляризация электродов и т.д.

Дальнейшие исследования электроориентации и диэлектрофореза бактериальных клеток показали, что их спектры зависят от фазы роота культуры: с увеличением ее возраста величина обоих эффектов значительно уменьшается [33]. Установлено также, что изменение спектров кишечных палочек при их обработке антибиотиком завиоит от знака электрического заряда антибиотика [34].

Кроме того, показано, что у ЭО опектра клеток с нарушенной барьерной функцией мембраны (при фикоации клеток и их обработке органичеоки-ми растворителями) наблюдается значительный сдвиг высокочастотного спада и частот переориентации в более высокочастотную область при увеличении проводимооти и pH исследуемой оуспензии [10, 31]. В то же время в случае нативных клеток при аналогичном изменении параметров суспензии одвиг высокочастотного опада ЭО спектра и первой частоты переориентации f_1 не превышает нескольких процентов (табл. 8).

Исходя из этого можно заключить, что зависимость высокчаототного спада ЭО опектра от физико-химических параметров среды можно использовать в качеотве показателя нарушения барьерной функции клеточной мембраны.

Таким образом, действие неоднсродного ЭП на клеточные суспензии проявляются в ориентации клеток вдоль или поперек силовых линий ЭП, образовании из них цепочек, перемещении клеток вдоль силовых линий ЭП (диэлектрофорез), их вращении, осаждении на электродах, а в ряде случаев в изменении формы и слиянии клеток.

Иоследование электроориентационного и диалектрофоретического спектров клеток разных видов свидетельствует о том, что они имеют характерные отличия. Спектры клеток данного вида зависят от электрических и морфологических характеристик клеток, фазы их развития и изменяются при их обработке биологически активными веществами.

Литература

1. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 288 с.
2. Pohl H.A., Crane J.S. Dielectrophoresis of cells. - Biophys.J., 1971, vol. 11, p. 711-727.
3. Pohl H.A. Dielectrophoresis: applications to the characterization and sepsration of cells. - In: Methods of cell separation. N.Y.: Plenum press, 1977, vol. 1, p. 67-169.
4. Schmidt K.P., Glaser R., Pescheck C., Krause G. Die kettenbildungskinetik als messparameter für die dielektrophorese von zellen. - Stud. biophys., 1979, vol. 75, p. 81-91.
5. Mischel M., Lamprecht I. Dielectrophoretic rotation in budding yeast cells. - Ztschr Naturforsch., 1980, vol.c35, p. 1111-1113.
6. Zimmerman U., Vienken J., Pilwat G. Rotation of cells in an alternating electric field: the accurence of a resonance frequency. - Ibid., 1981, vol. c36, p. 173-177.
7. Friend A.W., Finck E.D., Schwan H.P. Low frequency electric field induced changes in the shape and motility of amoebas. - Science, 1975, vol. 187, p. 357-359.
8. Zimmermann U., Schewrich P., Pilwat G., Bens R. Zellen mit manipulierten funktionen: neuen perspektiven für zellbiologie. - Angew. Chem., 1981, Bd. 93, S. 332-351.
9. Crane J.S., Pohl H.A. Theoretical models of cellular dielectrophoresis. - J.Theor.Biol., 1972, vol. 37, p. 15-41.
10. Фомченков В.М., Денесик А.И. Теоретическая модель высокочастотной релаксации электроориентации бактериальных клеток. - Электрон. обраб. материалов, 1980, № 2, с. 65-70.
11. Schwan H.P., Sher L.D. Alternating current field induced forces and their biological implications. - J.Electrochem. Soc., 1969, vol. 116, p. 170-174.
12. Шван Х.П., Фостер К.Р. Воздействие высокочастотных полей на биологические системы. Электрические свойства и биологические механизмы. - ТИИЭР, 1980, т. 68, № 1, с. 121-132.
13. Sher L.D. Dielectrophoresis in lossy dielectric media. - Nature, 1968, vol. 220, p. 695-696.
14. Asami K., Hanai T., Kozumi N. Dielectric analysis of E.coli suspensions in the light of the theory of interfacial polarization.- Biophys.J., 1980, vol. 31, p. 215-228.
15. Pohl H.A., Pollock K., Crane J.S. Dielectrophoretic force: a comparison of theory and experiment. - J.Biol.Phys., 1978, vol. 6, p. 133-160.
16. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Физматгиз, 1959. 257 с.

17.Стоилов С., Шилов В.Н., Духин С.С., Сокеров С., Петкоанчин В. Электрооптика коллоидов. Киев: Наук. думка, 1977. 200 с.
18.Овчаренко Ф.Д., Маляренко В.В., Шилов В.Н. Исследование электропроводности суспензий и электроориентации коллоидных частиц. - Коллоид. журн., 1977, т. 39, с. 73-79.
19.Hanai T., Koizumi N., Irimajiri A. A method for determining the dielectric constant and the conductivity of membrane bounded particles of bioligical relavance. - Biophys.Struct. and Mech., 1975, vol. 1, p. 285-294.
20.Chen C.S., Pohl H.A. Biological dielectrophoresis: the behaviour of lone cells in a non-uniform electric field. - Ann. N.Y. Acad. Sci., 1974, vol. 138, p. 176-185.
21.Kaler K., Pohl H.A. Dynamic dielectrophoretio levitation of living individual cells. - J.Biol.Phys., 1980, vol. 8, p. 18-31.
22.Мирошников А.И., Финаков Г.З. Использование метода диалектрофореза для изучения поведения микроорганизмов в неоднородных полях. - В кн.: Вопросы техничеокой кибернетики биологического эксперимента. Пущино: ОНТИ НЦБИ, 1974, с. 94-100.
23.Griffin J.L. Orientation of human and avian erithrocytes in radio frequency fields. - Exp.Cell. Res., 1970, vol. 61, p. 113-120.
24.Ferris C.D., Griffin J.L. Orientation of euglena gracilis by electromagnetic field: theory and experiment. - Acta biol. Acad. sci. hung., 1977, vol. 28, p. 375-387.
25.Толстой Н.А., Феофанов П.П. О некоторых электрооптических явлениях в коллоидах. - ДАН СССР, 1949, т. 66, с. 618-620.
26.Jennings B.R., Morris V.J. Light scattering by bacteria. - J.Colloid and Interface Sci., 1974, vol. 49, p. 89-97.
27.Rudd P.J., Morris V.J., Jennings B.R. Electric conservative dichroism in bacterial suspensions: experiments on E.coli. - J.Phys.D: Appl.Phys., 1975, vol. 8, p. 170-180.
28.Стоилов С., Сокеров С., Петканчин И., Иброшев Н. Электрическая поляризуемость и постоянный дипольный момент частиц бентонита и E. coli в водной среде. - ДАН СССР, 1968, т. 180, с. 1165-1168.
29.Фомченков В.М., Мирошников А.И., Иванов А.Ю., Кувшинникова В.В. Диалектрофотерическое поведение клеточных суспензий. - Электрон. обраб. материалов, 1975, № 2, с. 60-64.
30.Фомченков В.М., Гаврилюк Б.К. Диэлектрофорез клеточных суспензий. - Stud. biophys, 1977, vol. 65, p. 35-46.
31.Fomchenkov V.M., Gavriljuk B.K. The study of dielectropforesis using the optical technique of measuring. - J.Biol.Phys., 1978, vol. 6, p. 29-68.
32.Фомченков В.М., Мирошников А.И. Ячейки для исследования электроориентации и диалектрофореза клеток. - Электрон. обраб. материалов, 1979, № 4, с. 91-93.

33.Фомченков В.М., Иванов А.Ю., Мирошников А.И., Брезгунов В.Н., Бунина З.Ф. Зависимость электрических характеристик клеток от фазы роста культуры. Рукопись деп. в ВИНИТИ, 10.09.80, № 1411-80.
34.Fomchenkov V.M., Brezgunov V.N., Gavriljuk B.K. et al. A study of the effect of antibiotics on orientational and dielectrophoretic spectra of bacterial cells. - J.Biol.Phys., 1979, vol. 7, p. 45-56.

2.5. О возможных механизмах изменения функционального состояния изолированного сердца при действии магнитного поля

В настоящее время имеется ряд теоретических и экспериментальных данных, свидетельствующих с том, что в механизме действия постоянных МП важная роль принадлежит структурно-функциональным перестройкам биологических мембран /1-3/. Мембраны являются важнейшим уровнем интеграции клеточного метаболизма, они играют существенную роль в процессах выработки и трансформации энергии в биологических системах; мембранам принадлежит решающая роль в рецепции медиаторов нервной системы и многих гормонов /4, 5/.

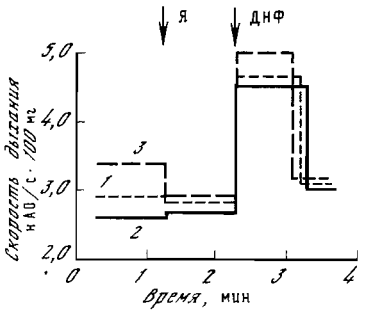
Известно, что α- и β-адренорецепторы локализованы в наружной мембране эффекторных клеток и их функциональное состояние зависит от функционального состояния мембран. Цель настоящей работы - исследование связи адренергической реактивности сердца с состоянием его биоэнергетики и электролитного баланса в условиях действия на сердце постоянного МП.

Опыты проводились на изолированных по Штраубу сердцах лягушек. Реактивность сердец лягушек на адреналин исследовалась до и после воздействия на сердце в течение часа постоянным МП 0,1 Тл. Градиент поля в области сердца составлял 0,5 Тл/м, а в области перфузата 5 Тл/м. В опытах с применением постоянного МП 5 мТл градиент в области сердца составлял 50 мТл/м, а в области перфузата 200 мТл/м.

Тканевое дыхание изучалось в измельченных на холоду кусочках миокарда желудочков сердца. Скорость потребления кислорода регистрировалась полярографическим методом. Инкубационная среда содержала 230 мМ сахарозы, 7,5 мМ $MgCl_2$ и 10 мМ KH_2PO_4, pH 7, объем 1,2 мл. В качестве субстрата окисления применялся сукцинат (10 мМ). α-динитрофенол (ДНФ) добавлялся в конечной концентрации 30 мкМ (эта часть эксперимента проведена при участии М.А.Шишло).

Интенсивность спонтанного сверхслабого свечения общих липидов сердца /6/ регистрировалась на хемилюминесцентной установке с ФЭУ-85, работающей в режиме счетчика фотонов. Экстракция липидов проводилась хлороформ-метаноловой смесью, которая готовилась непосредственно перед опытом. Интенсивность спонтанного сверхслабого свечения выражалась в импульсах в 1 с на 2 мг липидов.

Определение количественного содержания ионов калия и натрия в пер-



Р и с. 48. Влияние МП на тканевое дыхание миокарда после 60 мин работы сердца

I – контроль, 2 – МП 5 мТл, 3 – МП 0,I Тл, Я – сукцинат, ДНФ – динитрофенол

фузатах и тканях сердца проводилось по методу М.Д.Кравчинского [7]. Ткань сердца высушивалась в термостате при 40° до постоянного веса, сжигалась в H_2SO_4, разводилась бидистиллятом перед фотометрированием. Измерения проводились на приставке для пламенной фотометрии спектрофотометра по резонансным линиям для K^+–766,5 нм и Na^+–589 нм. В качестве горючей смеси использовался пропан с кислородом при температуре пламени 2850°.

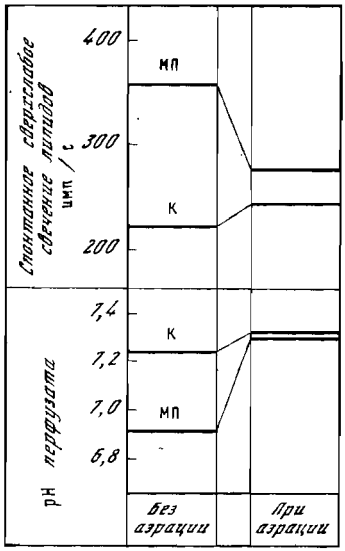
Измерение pH перфузата проводилось на приборе ЛПУ-0I. Для изучения реактивности сердца на адреналин после воздействия МП исследуемый медиатор использовался в широком диапазоне концентраций от $I \cdot 10^{-10}$ г/мл до $I \cdot 10^{-7}$ г/мл.

Исследование тканевого дыхания миокарда в контроле после часовой перфузии изолированного сердца показало, что при использовании сукцината в качестве субстрата окисления наблюдается кратковременная стимуляция дыхания ДНФ (рис. 48). Подобная непродолжительная стимуляция ДНФ наблюдалась в миокарде и в начальном периоде перфузии сердца. При воздействии на сердце МП 5 мТл наблюдалось снижение интенсивности эндогенного дыхания миокарда на 20% ($P < 0,05$), дыхание на сукцинате не изменялось, а стимуляция его ДНФ снижалась. При воздействии МП 0,I Тл наблюдалась тенденция к снижению эндогенного дыхания и уменьшение его стимуляции ДНФ.

Из представленных на рис. 48 данных следует, что наиболее чувствительным к воздействию МП является эндогенное дыхание миокарда. Субстрат окисления – сукцинат – стабилизирует тканевое дыхание миокарда и устраняет его вариации, обусловленные влиянием МП.

Исследование спонтанного сверхслабого свечения общих липидов сердца показало, что после воздействия МП 0,I Тл интенсивность спонтанного сверхслабого свечения общих липидов сердца повышается (с 2I0 имп/с до 358 имп/с при $P = 0,05$). При воздействии на сердце МП 5 мТл наблюдалась тенденция к снижению интенсивности спонтанного сверхслабого свечения общих липидов (рис. 49).

Изменение pH перфузата сердца показало, что в контроле (когда изолированное сердце в течение часа работает без дополнительной подачи



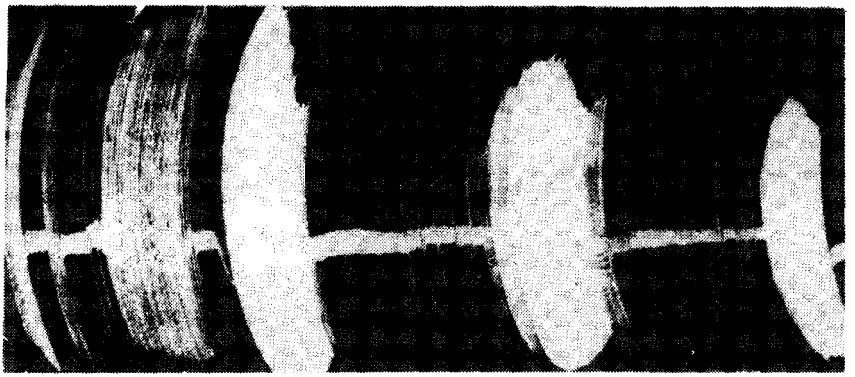
Р и с. 49. Влияние кислорода на эффективность действия МП I00 мТл в изолированном сердце лягушки

К – контроль (60 мин перфузии в лабораторных условиях); МП – экспозиция 60 мин

воздуха в перфузат) наблюдается его закисление. После воздействия на сердце МП 5 мТл выявилась тенденция к большему по сравнению с контролем закислению перфузата. Воздействие на сердце МП 0,I Тл вызывало дополнительное снижение pH перфузата на 0,28 ($P < 0,0I$) в летний период и на 0,I ($P < 0,05$) в зимний период. В условиях искусственной аэрации перфузата скорость его закисления в контроле уменьшается и при воздействии на сердце магнитного поля 0,I Тл избыточное закисление полностью устраняется. При этом снижается интенсивность спонтанного сверхслабого свечения экстрактов липидов сердца после воздействия МП 0,I Тл (рис. 49). Следовательно, под действием МП происходит первичное торможение эндогенного дыхания, которое вызывает последующее повышение скорости закисления перфузата и усиление спонтанного сверхслабого свечения общих липидов сердца. Устранение этих изменений путем повышения напряжения кислорода в миокарде указывает на то, что под действием МП возрастают пороговые концентрации кислорода, подавляющие гликолиз.

Обнаружено, что воздействие на сердце МП 0,I Тл в весенне-летний период приводило к возникновению периодической асистолии желудочков – периодам Люциани, которые устранялись при постоянной аэрации перфузата и при введении в перфузат препаратов, содержащих сульфгидрильные группы и относящихся к антиоксидантам (рис. 50). По-видимому, одним из механизмов нарушений деятельности сердца при воздействии МП 0,I Тл может быть снижение уровня тканевых антиоксидантов, введение которых способствовало нормализации деятельности сердца.

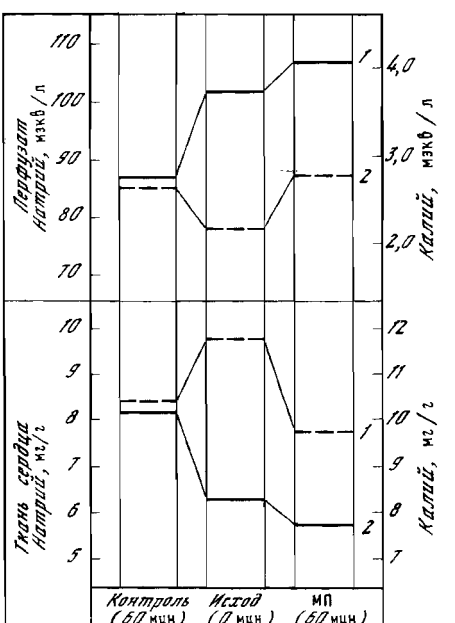
Определение ионного баланса K^+ и Na^+ между миокардом и перфузатом показало, что при 60-минутной перфузии сердца без дополнительной аэрации перфузата в контрольном сердце наблюдается выход K^+ в перфузат и вход Na^+ в ткани сердца. Направленность этих изменений не зависела от сезона года (зима, весна), но степень и статистическая значимость их существенно возрастали в весенний период. При действии МП 0,I Тл в отличие от контроля наблюдалось достоверное увеличение выхода из миокарда и тенденция к большему выходу K^+ (рис. 5I). Выход Na^+ из миокарда при действии МП был наиболее выраженным в весенний период и коррелиро-



Р и с. 50. Периодическая асистолия желудочков сердца лягушки (периоды Лючиани) при воздействии в весенний период на изолированное сердце магнитным полем 100 мТл в течение 50-60 мин

вал с избыточной продукцией H^+ миокардом (закисление перфузата после воздействия на сердце МП 0,1 Тл в зимний и весенний периоды).

Известно, что в ряде патологических процессов, возникающих при воздействии различных факторов (микроволны) и различных условий (острая гипоксия, гипотермия) наблюдается выброс ионов Na^+ из ткани /8, 9/. Известно также, что наружная мембрана клетки, ее электрический потенциал и трансмембранные потоки K^+ и Na^+ высокочувствительны к изменениям концентрации ионов водорода во внутриклеточной среде /10/. Представленные экспериментальные данные дают основание для заключения о том, что в условиях переходного процесса, когда в сердце происходит активация гликолиза под влия-



Р и с. 51. Влияние МП 0,1 Тл на содержание ионов Na и К в тканях и перфузатах изолированного сердца лягушки

Раствор Рингера для холоднокровных без глюкозы и без дополнительной аэрации. Объем перфузата 1 мл. 1 - натрий; 2 - калий

Таблица 9. Изменение реактивности сердца на адреналин после воздействия МП 0,I Тл

Серия эксперимента	Адреналин, г/мл		
	$I \cdot 10^{-9}$	$I \cdot 10^{-8}$	$I \cdot 10^{-7}$
Интактные	7,5±I,I	I6,5±3,I	I7,0±3,2
Контроль (60 мин)	26,6±8,3	37,7±9,6[x]	29,8±I,2[x]
МП (60 мин)	I4,5±4,3	I2,8±3,2[x]	I5,6±4,2[x]

[x] Достоверные различия

Примечание. Различие между опытом и контролем $< 0,05$. Различие между контрольной и интактной группой $< 0,05$.

нием МП 0,I Тл, нарушается электролитный баланс в сердце, что выражается в интенсивном выходе ионов натрия в перфузат из тканей сердца.

При воздействии МП обнаружено понижение реактивности сердца на адреналин, в то время как в контрольных опытах наблюдалось ее повышение (табл. 9).

Сопоставление полученных данных по изучению реактивности сердца на адреналин с состоянием ионного баланса в миокарде указывает на то, что при деполяризации мембраны, когда наблюдаются вход натрия в миокардиальные клетки и выход калия в перфузат, происходит повышение реактивности сердца на адреналин. Восстановление градиента натрия на наружной мембране клеток под влиянием МП подавляет реактивность сердца на адреналин. Следовательно, градиент ионов натрия на плазматической мембране клеток миокарда имеет существенное значение в реакции миокардиальных клеток на адреналин.

Проведенные опыты показывают, что МП влияет на интегративные функции клеточных мембран, вмешивается в процессы клеточного метаболизма и, как следствие, изменяет функциональное состояние изолированного сердца и его реакцию на адреналин.

Литература

I. Ирьянов Ю.М. Действие постоянного магнитного поля на ультраструктуру нервной ткани млекопитающих. - В кн.: Морфология и физиология нервной системы (Тр. Ижев. мед. ин-та), I970, с. 84-90.

2. Шишло М.А. Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, I97I, с. 24-40.

3. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, I974. I75 с.

4. Комиссаров И.В. Элементы теории рецепторов в молекулярной фармакологии. М.: Медицина, I969, 2I5 с.

5. Конев С.В., Аксенцев С.Л., Тернизкий Е.А. Кооперативные переходы белков в клетке. Минск: Наука и техника, I970. 202 с.

6. Жданова Н.Ф. Исследование системы медиаторных рецепторов в сердце и влияние на нее постоянного магнитного поля: Дис. ... канд. биол. наук. М.: Моск. мед. ин-т им. И.М.Сеченова, 1976. 149 с.
7. Кравчинский Б.Д. Современные основы физиологии почек. Л.: Медгиз, Ленингр. отд-ние, 1958. 364 с.
8. Thomas R. Electrogenic sodium pump in nerve and muscle cells. - Physiol. revievs, 52, 3, 1972, p. 563-594.
9. Арбер С.Л. К механизму действия микроволн на функцию и структуру нервной клетки: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: Центр. науч.-исслед. ин-т курортологии и физиотерапии, 1977. 19 с.
10. Ходоров Б.И. Общая физиология возбудимых мембран. М.: Наука, 1975. 406 с.

2.6. Роль ионов кальция и фосфора в реализации магнитобиологических эффектов

В настоящее время наиболее актуальными являются проблемы магнитобиологии, связанные с выяснением роли внешних и внутренних ЭМП в функционировании организма, а также проблемы исследования биофизических и биохимических механизмов, через которые реализуются действия ЭМП на организм. Из многочисленных теорий и гипотез, объясняющих возможные механизмы взаимодействия ЭМП с организмами, наиболее обоснованным является предположение Л.Д.Кисловского [1], согласно которому причина магнитобиологических эффектов заключается в снижении концентрации активных ионов кальция в биологических жидкостях. Это может происходить вследствие образования гексааквакомплекса $Ca(H_2O)_6^{2+}$ [2, 3]. Однако экспериментальные подтверждения этой концепции весьма немногочисленны. Важную роль связывания и высвобождения ионов кальция макромолекулами поверхности мембран как необходимого звена взаимодействия нервных элементов с ЭМП подчеркивают и другие исследователи [4]. Цель настоящего исследования - выяснение роли изменений концентрации ионов кальция в реализации магнитобиологических эффектов.

Методика исследования заключалась в сравнении результатов перфузии изолированного сердца лягушки растворами с различной концентрацией ионов кальция, обработанными и необработанными МП 4 нТл частотой 0,1 Гц. Влияние различных растворов на работу сердца оценивалось по кардиограмме, электрокардиограмме, а также по объему выбрасываемой жидкости.

Обнаружено, что результаты перфузии сердца раствором со сниженным содержанием ионов кальция аналогичны результатам перфузии раствором, обработанным ЭМП, но с нормальной концентрацией ионов кальция.

Вместе с этим полученные нами результаты исследования проницаемости изотопов фосфора (^{32}P) через гематоэнцефалический барьер в условиях действия импульсного ЭМП свидетельствуют об участии фосфатов в механизмах действия ЭМП. ^{32}P в виде Na_2HPO_4 в количеотве 4 мкм/мл на 100 г

массы вводился кошкам внутрибрюшинно. Через 20 ч после введения животные помещались в гольца Гельмгольца и подвергались воздействию импульсного ЭМП 150 нТл частотой 8 Гц, $T_и$ = 0,1 с. Контрольные животные находились в тех же условиях, но действию поля не подвергались. Экспериментальные животные подвергались воздействию ЭМП трехкратно по 2 ч с двухчасовыми перерывами между экспозициями. Через 48 ч после введения ^{32}P животные забивались. Из различных отделов мозга брались навески в 100 мг, а также проба крови 1 мл. Регистрация активности тканей производилась на установке БФЛ-25С с пересчетным прибором ПС02-2еМ. Всего было использовано 10 экспериментальных и 9 контрольных животных.

Результаты дисперсионного анализа показали, что под влиянием ЭМП содержание ^{32}P в гипофизе и в коре головного мозга увеличивается примерно в 1,5 раза.

Роль фосфора в метаболизме тканей исключительно велика и факты, свидетельствующие об изменении проницаемости для него барьера под действием ЭМП, имеют не только теоретическое, но и практическое значение /5, 6/.

Активация проницаемости фосфора электромагнитным полем через гематоэнцефалический барьер и его включение в метаболизм гипофиза и коры головного мозга позволяет понять результаты экспериментов, связанных с влиянием ЭМП на поведенческие реакции, на ЦНС, сердечно-сосудистую и другие системы, регулируемые корой головного мозга и гипофизом. Таким образом, результаты наших исследований доказывают важную роль различных ионов в реализации магнитобиологичеоких эффектов.

Литература

1. Кисловский Л.Д. О возможном молекулярном механизме влияния солнечной активности на процессы в биосфере. - В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с. 147-164.
2. Кисловский Л.Д. О метастабильных структурах в водных растворах. - ДАН СССР, 1967, т. 175, № 6, с. 1277-1279.
3. Классен В.И. Вода и магнит. М.: Наука, 1973. 126 с.
4. Эйди У.Р. Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям. - Физиология человека, 1975, т. 1, № 1, с. 59-68.
5. Думанский Ю.Д., Сердюк А.М., Лось И.П. Влияние электромагнитных полей радиочастот на человека. Киев: Здоровье, 1975. 187 с.
6. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975. 225 с.

ГЛАВА III. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В МЕДИЦИНЕ И БИОЛОГИИ

I. Влияние внешних факторов на организм и их роль в медикаментозном лечении

Известно, что условия внешней среды, в том числе и климатические, играют существенную роль в эволюции и существовании живых систем и человека в частности. Климатические условия определяются в значительной степени орографией местности, а также метеорологической и гелиогеофизической обстановкой, зависящей не только от положения Земли относительно Солнца, но и от интенсивности его корпускулярного и электромагнитного излучений. На природные условия внешней среды накладывается весьма значительный фон от действия антропогенных факторов как следствие развития промышленности и транспорта, расширения сети высоковольтных линий передач, телевидения и радио, что приводит к увеличению электромагнитных, газовых и аэрозольных загрязнений атмосферы.

Действие физико-химических факторов на организм может осуществляться через внешнюю среду его обитания или путем введения в организм веществ, подвергавшихся в ряде случаев предварительной обработке физическими полями. Таким образом, любой организм испытывает комбинированное действие физико-химических факторов внешней среды, зависящих от гелиогеофизических, метеорологических и социальных условий, а также от состава и качества веществ, поступающих внутрь организма с воздухом и пищей (иногда в сочетании с лекарственными препаратами). Перечисленные и другие факторы взаимодействуют между собой и с живым организмом, вызывая те или иные его реакции.

Статистический анализ клинических исследований показал, что метеорологические (температура, давление, влажность, скорость, направление ветра) и гелиогеофизические (солнечная активность, вариации геомагнитных и электрических полей, ионизация атмосферы и др.) факторы оказывают влияние на организм [1–3], в частности на развитие сердечно-сосудистых заболеваний [4–5] (см. также т.I, гл. II, п. I.3–I.5).

Среди действующих физических факторов особое место, в силу своей универсальности, занимают электромагнитные поля [6]. Так, эксперименты на животных показали [7], что электромагнитное излучение со спектральным распределением, адекватным естественному фону, оказывает биологическое действие на нормальный рост организма, а также на развитие злокачественных образований. При этом эффект действия ЭМП зависит от ширины спектрального распределения: с ростом частоты знак эффекта изменяется на обратный – от торможения роста злокачественного образования к его ускорению (подробнее об этом см. т. 2, гл. IV, п. 2.2).

Экспериментальные исследования биологического действия ЭМП свидетельствуют о том (см. т.2 , гл. I, п. 2.I - 2.4), что живые системы обладают избирательной чувствительностью к действию ЭМП различных частотных диапазонов. Кроме того, известно (см. например, /8,9/), что МП действуют на организм не только непосредственно, но и опосредованно через лекарственные препараты, предварительно обработанные МП ("омагниченные" препараты). Этот фармакологический эффект зависит от многих условий, а также от того, подвергался ли ранее организм действию МП ("омагниченный" организм). Таким образом, экспериментальные данные подтверждают существование непосредственного и опосредованного эффектов действия на человека и животных внешних электрических и магнитных полей даже небольшой напряженности.

Курортная практика изобилует разнообразными ситуациями, когда на фоне контрастных влияний окружающей обстановки возникает перестройка внутренних систем организма, ответственных за механизмы адаптации к меняющимся условиям внешней среды. Примером таких ситуаций, когда нарушается согласование биоритмов организма с факторами внешней среды, является перемещение людей с севера на южные приморские или горные курорты, при этом возникают не только климатогеографические контрасты, но и большая разница во времени суток (об изменении ЭМП, возникающих при перемещении, см. т.I, гл. I, п. 2.4). Наибольшая мобилизация приспособительных механизмов отмечается /I0/ при переезде с востока на запад. Установлено, что у больных с сердечно-сосудистой патологией и у жителей крайнего севера нормализация глубинных процессов ("физиологическая" адаптация) замедлена и наступает преимущественно на третьей неделе пребывания на юге, в то время как клиническое улучшение ("клиническая" адаптация) выявляется в первые дни. Естественно, что отрицательные реакции при акклиматизации снижают эффективность курортного лечения /II,I2/, что обусловливает дополнительные требования к лекарственной терапии, особенности которой еще недостаточно изучены.

Биологическая сущность действия лечебных вод (бальнеореакции) в их физиологических пределах связана с изменением реактивности организма, переходом его на новый метаболический уровень, обеспечивающий восстановительные процессы /I3/. Серии экспериментов на животных /I4/ по изучению электронно-микроскопических изменений органелл нервных клеток спинного мозга под действием ультразвука и магнитных полей (0,04-0,I Тл) углубляют наши представления о сложном фазнопротекающем процессе ответных реакций живых систем на внешние воздействия. Изменения реактивности организма также могут сказываться на эффектах медикаментозного лечения.

Между тем, в условиях широкого использования в медицинской практике большого арсенала лекарственных средств, в том числе биологически активных веществ, их комбинированное действие одновременно с факторами внешней среды, как правило, не учитывается, что может исказить не-

контролируемым образом ожидаемый эффект медикаментозного лечения. Отсюда следует, что в прогнозах действия лекарственных препаратов и в обосновании их применения следует учитывать возможные эффекты внешних воздействий на гемодинамику, метаболизм, нейро-эндокринно-вегетативную регуляцию с учетом данных биоритмологии - суточных, недельных, месячных, сезонных ритмов, (см., например, /I5/, а также т.2, глава I, раздел 5). Целесообразно всесторонне проанализировать по данным физиотерапии, климатотерапии и курортологии /I6/ эффекты действия факторов внешней среды на организм. Известна, в частности, биологическая активность высокогорного климата - низкое барометрическое давление, пониженное парциальное давление кислорода, повышенная ультрафиолетовая и инфракрасная радиация, сравнительно высокая ионизация воздуха - все это стимулирует защитно-приспособительные реакции организма, способствуя повышению его устойчивости к неблагоприятным внешним воздействиям /I7/.

Следует уделить больше внимания динамике восстановительных процессов в зависимости от сезона года и времени суток. Показано, например, /I8/, что зимой под влиянием ультразвука уровень гликозы в крови крыс заметно повышался, а весной и летом чаще понижался. Омагниченные снотворные, как показано М.М.Десницкой, эффективнее действуют на сон животных зимой, чем летом. Фармакологический эффект от введения омагниченным животным барбамила зависит от времени суток омагничивания - наибольший эффект, включая гибель животных от введения снотворного, наблюдался между I2 и I4 часами, т.е. в период наивысшего уровня показателей сердечно-сосудистой системы.

В настоящее время широко используются комплексные методы лечения физическими воздействиями в сочетании с лекарственными препаратами (физико-медикаментозная терапия) - введение лекарств через кожу под действием электрического тока (электрофорез, фонофорез), ингаляционные методики (аэрозольтерапия). Следует, однако, заметить, что под действием электрофореза /I9/, ультразвука /I8,20/, МП /2I/, электроаэрозольтерапии /22/ наблюдаются изменения проницаемости мембран, активности лекарств и их свойств.

Фармакологический эффект при электрофорезе достигается в сотни и тысячи раз меньшими дозами препарата, чем при пероральном их использовании. Так, при введении крысам с саркомой-45 противоопухолевых препаратов методом электрофореза отмечается такая же противоопухолевая активность, как и при внутрибрюшинном введении предельно допустимых доз этих веществ /23/. Многие лекарственные препараты изменяют свою структуру, теряя характерное фармакологическое действие. Так, например, адреналин и норадреналин, предварительно подвергнутые действию МП (0,I; 0,I3; 0,4 Тл), вызывали несвойственную им реакцию угнетения, вплоть до полной остановки изолированного сердца лягушки /24/.

Исследования устойчивости к действию физико-химических факторов

высокочувствительных сложных, особенно белковых, соединений показали, в частности, что спектры поглощения и люминисценции раствора панкреатина после действия током не совпадают с оптическими свойствами исходного раствора [25].

Растворы панкреатина под действием постоянного тока (0,05-2 мА) теряют фармакологическую активность, т.е. становятся непригодными для лечебного электрофореза. Вместе с тем воздействие током, например на трипоин и полярные аминокислоты, не приводит к изменению спектров люминисценции и поглощения [26].

Не менее сложно и разнообразно, чем в лекарственном электрофорезе, действие ультразвука на структуру и свойства лекарств, при этом не исключена возможность разрушения белков в ультразвуковом поле [27]. Под влиянием ультразвука бактерицидное действие, например грамицидина, усиливается, полимиксин почти полностью теряет свою антимикробную активность [28]. В то же время кофеин, применяемый часто для стимуляции сердечной деятельности, под влиянием ультразвука, наоборот, может вызвать мгновенную и необратимую остановку сердца [29]. При использовании ультразвука мощностью около 2 Вт/см^2 наблюдается разрушение новокаина, увеличивается антимикробное действие бициллина и пенициллина, олеандомицина и террамицина [30]. Из приведенных примеров следует, что под действием физических факторов может происходить как разрушение, так и повышение активности лекарств, причем, используя физикофармакологические методы воздействия, возможно получить значительную фармакологическую активность при весьма малой дозе лекарственных средств [31].

Изложенные выше результаты относятся также и к комплексному воздействию на организм природной среды - электрических и магнитных полей, температуры, аэрозольного и ионного состава воздуха, действие которых совмещается с лекарственной терапией и приводит в ряде случаев к эффектам, отличным от ожидаемых. В связи с этим следует подчеркнуть необходимость учета непрерывного воздействия на биообъекты ЭМП атмосферы Земли. Пренебрежение этим фактором может привести к неблагоприятным эффектам действия лекарственных препаратов, а также оказаться одной из причин разброса данных в медико-биологических исследованиях.

Магнитофармакологический эффект [8,9] зависит от условий эксперимента и может иметь разнонаправленное действие. Омагниченный раствор папаверина понижал устойчивость крыс к гипоксии, в то время как введение неомагниченного препарата омагниченным животным вызывал обратный эффект - повышение антигипоксического действия. Омагниченный раствор иодида натрия ослаблял отек легких у мышей, увеличивал выносливость животных по сравнению с контролем. Инъекции омагниченного раствора гистамина (0,4 мг/кг) при сенсибилизации кроликов увеличивали их смертность от анафилактического шока [32].

Эффект действия снотворных, как и аналептиков, зависит от числа актов омагничивания препаратов. Например, при многократном введении

мышам повторно омагниченного раствора барбамила (ежедневно в течение 21 суток) эффект проявляется циклически. Омагниченные препараты онотворных при повторном облучении оказывали больший эффект в первые три дня, а также на 12-14-й и 19-20-й дни. Аналогичный эффект действия отмечен и у омагниченных животных, получавших неомагниченные снотворные.

Необходимо отметить отсутствие линейной зависимости действия омагниченного препарата от индикации МП, причем в ряде случаев использование значительно меньших напряженностей полей приводит к более благоприятному эффекту. Так, раствор барбамила, обработанный МП 0,1 мТл, вызывает увеличение продолжительности сна, в то время как при обработке его МП 0,42 Тл продолжительность сна у подопытных животных при прочих равных условиях меньше, чем у контрольных.

Хроматографический анализ омагниченных растворов, содержащих лекарственный препарат, и отдельно каждого из компонентов: растворитель (вода, физиологический раствор), сухой препарат (барбамил, бромид натрия, кофеин, коразол, гистамин, адреналин и др.) показали, что наиболее существенные изменения наблюдаются для растворов. Отсюда следует, что в механизме дейотвия МП на лекарственные препараты, по-видимому, существенным является взаимодействие активных групп лекарственного вещества и растворителя [33,34].

Изучение хроматографической подвижности 12 растворов препаратов различных фармакологических групп показало, что под действием МП полярность веществ в используемой системе растворителей изменяется. Отмечено различие хроматографической активности омагниченных и неомагниченных препаратов. При многократном воздействии МП на раствор лекарственных препаратов существенные изменения хроматографической подвижности наблюдались после одного, двух- и трехдневного омагничивания. Дальнейшее омагничивание в течение 7 дней не приводило к заметным изменениям хроматограммы.

В свете полученных данных можно предполагать, что одним из механизмов магнитофармакологического эффекта может быть первичное изменение под действием МП свойств водных сред организма и лекарственных растворов. Затем возникает вторичный процесс взаимодействия лекарственного вещества с жидкой средой организма, что приводит к изменению свойств лекарственных препаратов, влияющих на фармакокинетику и фармакодинамику. Как следствие этого процесса изменяется реакция организма на действие внешних сигналов, что может быть одной из причин магнитофармакологического эффекта.

Приведенные выше, далеко неполные, данные свидетельствуют о том, что успех медикаментозного лечения зависит не только от точности диагноза заболевания, качества и количества применяемых лекарственных средств, но и от действующих на организм внешних физических факторов. Факторы внешней среды, в том числе и ЭМП, оказывают влияние на больной организм, что необходимо учитывать при медикаментозном лечении. Резкие изменения метеорологических и гелиогеофизических условий, а также перемещение биологических объектов в разные климатические зоны требуют четкой работы систем

адаптации. Больной организм не всегда обладает этой способностью. В связи с этим при использовании лекарственных препаратов и физических методов воздействия для профилактики и восстановления здоровья следует учитывать факторы внешней среды, параметры которой изменяются в широких пределах.

Таким образом, проблемы комплексного исследования биологичеокого действия веществ, поступающих внутрь организма с воздухом, пищей, с лекарственными препаратами, в зависимости от состояния организма и факторов внешней среды становятся весьма актуальными. Поскольку, как показано выше, внешние физические факторы как естественной, так и искусственной природы могут менять фармакологическую активность лекарств, необходимо пересмотреть и уточнить используемые дозировки как в лекарственной, так и в физиотерапии, особенно в их сочетаниях. При разработке методов физикофармакологического лечения необходимо принимать во внимание не только) факторы внешней среды, но и законы биоритмологии, а также избирательную чувствительность организма к различным частотным диапазонам электромагнитных сигналов.

Литература

I. Сперанский А.П. К изучению влияния типа погоды на больных с нарушениями нервноприспособительных механизмов. - В кн.: Вопросы клинической физиотерапии и курортологии. М.: ЦИУ, I964, т. 22, с. I03-I09.

2. Воронин Н.М. Основы медицинской и биологической климатологии. М.: Медицина, I98I, 35Iс.

3. Чубинский С.М. Синоптический фронт и его значение в патологических состояниях организма. - Вопр. курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры, I962, № 5, с. 429-433.

4. Кондратюк И.К., Матвейков Г.П., Боборыкин А.М. и др. Влияние гелиогеофизических и геомагнитных факторов на заболеваемость инфарктом миокарда. - Докл.АН БССР, I973, № 9, с.853 - 856.

5. Козырь Л.Г. Влияние метеорологических и гелиофизических факторов на возникновение и течение инфаркта миокарда: Автореф. дис...канд. мед. наук, М.: Центр. ин -т курортологии и физиотерапии МЗ СССР, I974,23с.

6. Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха.М.:Наука, I975, т.I,339с.;т2,207о.

7. Юрьев В.Н., Красногорская Н.В. Флюктуационные электромагнитные поля в процессе роста и бластомогенеза. - Бюл. эксперим. биологии и медицины. М.: Медицина, I980, с. 602-604.

8. Десницкая М.М. Магнитофармакологические эффекты. - В кн.: Применение магнитных полей в клинической медицине и эксперименте. Куйбышев: КГУ, I979, с. 79-82.

9. Чеснокова Л.Н. Фармакологические эффекты холинотропных веществ в условиях воздействия магнитным полем. - В кн.: Фармакология нейротропных средств. Саратов: СГУ, I980, вып. I, т. II8, с. 87-90.

IO.Ярославцев В.Л. Адаптация и проблемы общей патологии. Новосибирск; НГМИ, I974, т. 3, с. I49-I5I.

II. Гавриков Н.А. Курортная терапия и профилактика гипертонической болезни. М.: Медицина, 1978. 174 с.
12. Бокша В.Г., Богуцкий Б.В. Медицинская климатология и климатотерапия. Киев: Здоровья, 1980. 261 с.
13. Казначеев В.П., Дзизинский А.А. О механизмах биологического действия бальнеофакторов. – В кн.: Матер. Второй Всесоюз. конф. по эксперим. курортологии и физиотерапии. М.: Центр. НИИ курортологии и физиотерапии, 1970, с. 94-99.
14. Сперанский А.П., Артемкин В.Д., Святенко Е.С. и др. Электронномикроскопические и иммунологические исследования в изучении действия МП в эксперименте на белых крысах. – В кн.: Физикоматематические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т. 2, с. 82-89.
15. Заславская Р.М. Суточные ритмы больных с сердечнососудистой патологией. М.: Медицина, 1979. 164 с.
16. Боголюбов В.М. Проблемы индивидуального лечения больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями физическими факторами. – В кн.: Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры, 1979, № 3, с.1-5.
17. Сиротинин Н.Н. Высокогорье и больной организм. Фрунзе :Киргизский Гос. ун-т, 1969, с. 3-12.
18. Чиркин А.А., Богданович Л.И., Улащак В.С. Ультразвук и реактивность организма. Минск: Наука и техника, 1977. 190 с.
19. Парфенов А.П. Электрофорез лекарственных веществ. Л.: Медицина, Ленингр. отд-ние, 1973, 175 с.
20. Сперанский А.П. Биофизические и клинические основы лечебного применения ультразвука. М.: ЦИУ, 1976, 25 с.
21. Фефер А.С. Матричные магнитоносители (магнитофоры), как средство регуляции жизнедеятельностью биологических систем. – В кн.: Физико-математические и биологические проблемы электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.1, с. 246-265.
22. Парфенов А.П. Физические лечебные средства и курортные факторы. М.: Медицина, 1975. 212 с.
23. Стрелкова Р.Л. Электрофорез противоопухолевых препаратов в эксперименте : Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М.: Ин-т эксперим. и клинич. онкологии АМН СССР, 1967, 24 с.
24. Гольцева И.Н. О влиянии постоянного магнитного поля на некоторые физиологически активные вещества, изучение влияния магнитных полей на биологические объекты. – В кн.: Матер. Всесоюз. совещ. М.: Наука, 1969, с. 66-67.
25. Бойцов Л.Н. Общие закономерности и частные методики электрофореза сложных лекарственных веществ: Автореф. дис.,канд. мед. наук, Минск: Центр. ин - т курортологии и физиотерапии МЗ СССР, 1980. 22 с.
26. Улащик В.С., Бойцов Л.Н. К вопросу о физикохимических основах и количественных закономерностях электрофореза аминокислот. – Вопросы ку -

рортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры, М.:Медицина, 1977, с. 58–62.
27. Эльпинер И.Е. Ультразвук, физико-химическое и билогическое действие. М.: Физматгиз, 1963. 420 с.
28. Эльпинер И.Е., Сутоцкая И.В. О действии ультразвуковых волн на структуру и антибиотическую активность грамицидина.-ДАН СССР, 1964, т.157, с. 759–764.
29. Бусаров С.Г. О введении лекарственных веществ с помощью ультразвука: Автореф. дис.... канд. мед. наук. М.: Центр. НИИ курортологии и физиотерапии МЗ СССР, 1963, 16 с.
30. Улащик В.С., Чиркин А.А. Ультразвуковая терапия, Минск: Беларусь, 1983. 254с.
31. Улащик В.С. Физико-фармакологические методы лечения и профилактики. Минск: Беларусь, 1979. 223 с.
32. Смирнова В.В., Табакова Т.Д. Влияние магнитного поля на действие папаверина в условиях гипоксии. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. Калининград: Изд-во Калининград. ун-та, 1975, с. 19–20.
33. Десницкая М.М., Каргаполов А.В. К механизму действия лекарственных веществ, подвергавшихся воздействию магнитного поля. - Там же, с. 20– 21.
34. Кирганцев А.И., Соколов В.М., Ханоев Е.И. К вопросу о влиянии магнитного поля на физико-химические свойства растворов.-В кн.:Физическая химия, 1968, т. 62, № 1, с. 301–309.

2. Некоторые биохимические проблемы магнитобиологии и магнитотерапии

За последнее время магнитобиология достигла серьезных успехов в решении прикладных задач прежде всего благодаря широкому использованию постоянных МП в терапевтических целях. Однако в оценке эффективности широкого внедрения МП в клиническую практику настораживает тот факт, что МП играет роль универсального средства от множества патологий, и это достигается незначительными вариациями параметров: напряженности, экспозиции, локализации омагничивания /1/. Очевидно, использование МП в терапии должно основываться на детальном знании его влияния на интактный организм. Эти знания можно получить в гигиенических исследованиях, которые, в частности, свидетельствуют в некоторых случаях о неблагоприятном действии МП на организм в различных производственных условиях /2/. Кроме того, целый ряд экспериментально-клинических исследований характеризуют МП как фактор, активно нарушающий деятельность метаболических систем углеводного, липидного и белкового обменов /3/. Естественно, чтобы примирить в клинической практике два взаимоисключающих биологических действия МП - терапевтическое и патологическое , необходимо знание как молекулярных механизмов, так и закономерностей ответных реакций ор-

ганизмов на воздействие МП в норме и патологии. Поскольку биохимические реакции протекают с чередованием парамагнитно-диамагнитных состояний промежуточных и конечных продуктов метаболизма, МП может вызвать изменение скорости как прямых, так и обратных реакций, что определяет возможность взаимокомпенсации изменений, вызванных МП в биохимических звеньях. Тогда биологический эффект МП интегрально можно интерпретировать как итог нескомпенсированных изменений в биохимических звеньях, трансформированных на клеточный и органный уровни. Необходимым условием для успешного терапевтического применения МП должно явиться знание тех молекулярных нарушений, из-за которых возник патологический процесс, адекватный выбор воздействия МП не только на нарушенную при патологии молекулярную систему, но и на соседние интактные системы. На основании таких сведений и общих законов регуляции липидного, углеводного и белкового обменов могут быть разработаны общетеоретические и методичеокие основы магнитотерапии для выбора значения напряженности МП, его локализации и длительности омагничивания.

Биохимические механизмы адаптации наиболее важны в жизни организмов, ибо составляют существо "интимных" метаболических процессов клетки /4/. И с этой точки зрения общие закономерности биохимической эволюции и адаптационных взаимодействий организмов с физико-химическими факторами внешней среды могут быть поняты в рамках строгих физико-химических закономерностей Биохимические изменения в организмах большей частью адаптивны на уровне основных метаболических процессов и макроскопически не проявляются. Именно биохимическая адаптация к изменению факторов внешней среды позволяет сохранить постоянство анатомической и физиологической форм организмов. Для стационарного протекания жизненных процессов организма необходимо, чтобы гомеостаз метаболических функций осуществлялся в определенном направлении и с определенной скоростью, соответствующей оптимальному режиму обмена организма с внешней средой энергией, веществом и информацией. Для достижения этой цели возможны следующие превращения с биологически важными макромолекулами: изменение типов макромолекул, их концентрации и адаптивной регуляции функций макромолекул. Организмы синтезируют макромолекулы белков, нуклеиновых кислот, липидов, полисахаридов и их взаимогруппирующихся комплексов, составляющих основу специфических свойств живых систем, одновременно сочетая при этом образование высокоэнергетических соединений и низкомолекулярных предшественников, а также генерирование восстановителей /4,5/.

Можно полагать, что МП влияет прежде всего на гомеостаз живых систем, изменяя скорость и направленность радикальных метаболичеоких реакций, как наиболее чувствительных параметров адаптационной системы организма, т.е. в основе механизмов действия МП должны быть те же физико-химические закономерности, что и в основе процессов адаптации к ним. В настоящее время можно считать доказанной способность МП изменять кинетику радикальных химических реакций /6,7/ (см. также т.2,гл.II,п.2.I) и,видимо, это доказа-

тельство можно распространить на радикальные биохимические реакции, по крайней мере на кинетику свободнорадикальных реакций перекисного окисления липидов /8/ (см. также т.2, гл.II, п.2.2).

Эффекты МП в кинетике химических реакций предсказывались еще в конце XIX столетия и только в 1913 году было обнаружено влияние МП на флуоресценцию паров иода. Эксперименты же по исследованию действия МП на реакции в растворах долгое время оставались безрезультатными. Теоретически возможно смещение химического равновесия за счет изменения магнитной восприимчивости химической системы /9/, но относительное изменение константы скорости реакции очень мало и, например, в МП I Тл не превышает 10^{-4}. Под действием МП ориентация ассоциатов молекул или макромолекул с анизотропией магнитной восприимчивости, хотя и может изменить их реакционную способность, но незначительно - эффекты не превышают 0,1% в полях порядка I Тл /10-12/. Обнаруженное влияние МП на фотофизические процессы с участием триплетных электронов в кристаллах стимулировало поиск подобных эффектов в растворах /13/. Открытие явления химической поляризации ядер и электронов положено в основу физического механизма влияния МП на радикальные химические реакции в растворах и способствовало созданию строгой теории этого явления /6/. Теория влияния МП на скорость радикальных химических реакций и реакций с участием молекул в триплетных возбужденных состояниях в растворах способна предсказывать оптимальные условия возникновения эффектов, где могут наблюдаться магниточувствительные стадии /7,9,14/.

Может ли теория /6/ явиться основой для объяснения действия МП на биохимические процессы в живых организмах? По-видимому, может, поскольку биохимические реакции, несмотря на их особенности, подчинены законам элементарного химического акта; многие биохимические реакции, из которых часть ферментативных, идут через отадии свободнорадикальных метастабильных состояний; радикальная пара является детектором МП, благодаря возникающей в ней спиновой динамики переходов между уровнями различной мультиплетности, индуцируемых внешним и локальным МП электрон-ядерной системы. Вмешательство МП, оцениваемое по зеемановскому и сверхтонкому взаимодействиям, изменяет вероятность протекания реакций за счет ранее запрещенных переходов.

При знании физико-химического механизма все большее значение приобретает поиск биохимических закономерностей реакций биологических систем на воздействие МП. Для решения этой проблемы необходимо знать не только молекулярный механизм влияния МП, но и способ трансформации молекулярных изменений на клеточный и органный уровни, а также изучить роль адаптационных и регуляторных систем в формировании (а это, пожалуй, самое важное) реакций организма на действие МП, что по существу и является биологическим эффектом магнитных полей.

В практической магнитобиологии уже сегодня можно руководствоваться накопленными теоретическими и экспериментальными данными о влиянии МП на

ферментативные системы углеводного и липидного обменов в миокарде, отделах ЦНС и других системах организма, поэтому своевременно ставить вопрос о формировании теоретических положений в магнитобиологии и магнитотерапии /15,16/. В настоящее время можно, пусть в самом общем виде, получить важные практические рекомендации: какие напряженности МП необходимы, в каких патологических случаях следует (или не следует) применять МП, каково оптимальное время омагничивания объекта, необходима ли локализация МП на патологическом очаге или вне его.

Результаты, полученные при исследовании теоретических и экспериментальных химических и биохимических моделей, свидетельствуют о сложной зависимости изменения скорости радикальных химических реакций от напряженности МП. Если биохимическая система адекватна, т.е. она определена в рамках закономерностей действия МП на радикальные химические реакции, то для такой системы может быть предсказана теоретически или получена экспериментально зависимость изменения скорости реакции от напряженности МП. В современной магнитотерапии возникает острая необходимость знания молекулярных нарушений, лежащих в основе возникшей патологии, с целью определения того, какие системы радикальных биохимических реакций следует активировать, а какие ингибировать с учетом конкретных взаимодействий в реагирующих компонентах, т.е. необходимо вскрыть патологию на молекулярном уровне /3,8/.

Изменение скорости реакции под влиянием МП - процесс практически мгновенный и, следовательно, время омагничивания (экспозиция) объекта всецело должно зависеть от времени срабатывания адаптационных систем в момент раскомпенсации. При этом следует учитывать порог биохимической адаптации, циркадные и сезонные изменения исследуемой биохимической системы. Перестройка большинства молекулярных процессов и переход их на новый метаболический уровень в клетке заканчивается за 15-20минут (синтез белков, липидов, гормонов и других молекул; процессы проницаемости, возбуждения ограничиваются десятками миллисекунд). Видимо, 20 минут и есть лимитирующая экспозиция действия МП для определенных молекулярных перестроек при конкретном циркадном значении активности исследуемой метаболической системы /16/. Произведение напряженности Н на экспозицию Т (НхТ) можно рекомендовать как гипотетическую, но экспериментально определяемую, "дозу" омагничивания, для которой величина биомагнитного эффекта в каждом конкретном случае должна быть оптимальной. В клетке существует многоступенчатая регуляция любого метаболического процесса, контролируемого, в свою очередь, ЦНС. Если активность исследуемого метаболического звена полностью подавлена развитием патологии, то активация и восстановление его функций должны происходить через резервные интактные пути при участии ЦНС, что и определяет требования к локализации МП. При частичной утрате активности звена активация может быть достигнута локально, непосредственно в патологическом очаге или через посредство воздействия также и на другие системы организма.

Итак, биологическое действие МП может быть интерпретировано с позиций молекулярного механизма, согласно которому его влияние выражается в изменении кинетики и направленности биохимических радикальных реакций и в первую очередь реакций перекисного окисления липидов. На первичное воздействие МП у живого организма возникают многочисленные адаптационные реакции на разных уровнях его жизнедеятельности, протекание которых определяет биологический эффект.

Терапевтическое действие МП может быть тем значительнее, чем полнее выявлены нарушенные патологией биохимические параметры организма (биоритмы, адаптационный порог, время ответной реакции), на которые МП должно оказать нормализующее действие.

Литература

I. Применение магнитных полей в клинике: Тез. докл. Куйб. обл. конф., Куйбышев, 1976. 199 с.
2. Гигиническая оценка магнитных полей: Матер. симпоз., М., 1972. 169с.
3. Применение магнитных полей в клинической медицине и эксперименте: Тез. докл. 2-ой Поволж. конф., Куйбышев: 1979. 243 с.
4. Хочачка П., Сомеро Д. Стратегия биохимической адаптации. М.:Мир, 1977. 398 с.
5. Ньюсхолм Э., Старт К. Регуляция метаболизма. М.: Мир, 1977. 407 с.
6. Бучаченко А.Л. Химическая поляризация ядер и электронов. М.:Наука, 1974. 246 с.
7. Франкевич Е.Л. Магнитные поля и скорость реакции. - Вестн. АН СССР, 1978, т. 2 , с. 80-86.
8. Аристархов В.М., Пируэян Л.А. Роль биохимических процессов в ответных реакциях биосистем на воздействие магнитных полей. - Изв. АН СССР, СССР. Сер. биол., 1977, № 6, с. 915-919.
9. Сагдеев Р.З.. Салихов К.М., Молин Ю.Н. Влияние магнитного поля на процессы с участием радикалов и триплетных молекул в растворах. - Успехи химии, 1977, т. 46, № 4, с. 569-601.
10. Аристархов В.М., Пируэян Л.А., Цыбышев В.П. Физико-химические основы первичных механизмов биологического действия магнитного поля. - В кн.: Реакции биосистем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, с.6-25.
11. Дорфман Я.Г. О специфике воздействия магнитных полей на диамагнитные макромолекулы в растворах. - Биофизика, 1962, т. 7, № 6, с. 733-736.
12. Аристархов В.М. Критические замечания о теоретических обоснованиях биологических эффектов магнитного поля. - Изв. АН СССР. Сер. биол., 1979, № 1, с. 122-123.
13. Соколик И.А., Франкевич Е.Л. Влияние магнитных полей на фото-процессы в органических твердых телах. - УФН , 1973, т. 111, вып. 2, с. с. 261-288.
14. Вайнер Л.М., Подоплелов А.В., Лешина Т.В. и др. Влияние МП на ско-

рость разложения H_2O_2 каталазой и комплексом ЭДТА с Fe^{+3}. – Биофизика, 1978, т. 23, вып. 2, с. 234–241.
15. Удинцев Н.А., Канская Н.В. Влияние магнитного поля на сердце. Томск: Изд-во ТГУ, 1978. 124 с.
16. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975. 206 с.

3. Применение электромагнитных полей в диагностике и терапии

Проблема применения ЭМП в медицине в диагностических и лечебных целях развивается в двух направлениях: 1) регистрация внутренних (эндогеннообразуемых) ЭМП; 2) воздействие внешними ЭМП (экзогенное воздействие) с целью обнаружения и разрушения патологического очага или замедления патологического процесса.

Внутренние поля меняются при различных функциональных состояниях и патологических процессах. Использование внутренних ЭМП базируется на их тесной связи с метаболическими процессами и молекулярной организацией организма. Регистрация внутренних ЭМП – наиболее чувствительный диагностический метод, позволяющий в ряде случаев получить сведения о состоянии организма безболевым и бесконтактным способом, не используя стандартные методики забора крови, биопсийного материала, посевов и введения различных зондов. Эти методы (см. т.I, гл.III,п.п.I.3; I.4) не имеют противопоказаний для применения.

В терапевтических целях часто ограничиваются воздействиями внешних, иногда высокоинтенсивных ЭМП. В настоящее время еще недостаточно учитывается роль резонансного действия ЭМП на молекулярную организацию и влияние его на патологические процессы, не используется возможность воздействия на сумму воспринимающих структур потоком излучений волн разной длины, для каждой из которых имеется селективно поглощающая структура.

Наиболее важными структурами, воспринимающими излучение, являются мембраны, вода, ферменты, ионы, их взаимосвязь друг с другом, а на уровне организма – его функциональное состояние. Мембраны состоят из белков, жиров, углеводов, погруженных в структурированную воду [1]. С мембранами связаны многие ферменты, в липидах мембран протекают процессы свободнорадикального перекисного окисления (СРПО). Изменение структуры мембран, наблюдающееся при действии некоторых излучений, вызывает изменение активности ферментов, синтеза макроэргических соединений, интенсивности СРПО. Эти изменения на клеточном уровне могут проявиться нарушениями в проницаемости, всасывании, устойчивости мембран к гипоксии, действию других факторов.

Для проявления биологического действия ЭМП необходима вода, включенная в единый комплекс "макромолекула-вода", являющийся единой упорядоченной структурой с собственным регулярным ЭМП [2]. Подобный комплекс

обеспечивает создание возбужденных состояний, возникновение и распространение возбуждения [3], рецепцию ЭМП. Вода ответственна за основной биологический эффект при действии микроволн: поглощает 98% падающего излучения с длиной волны 3 см [4].

Комплекс "вода-фермент" воспринимает электромагнитную энергию как непосредственно за счет наличия полос поглощения, так и при миграции энергии между молекулами. Ферменты изменяют свою активность при поглощении ЭМП, а также при воздействии радиотоксинов, преимущественно липидной природы, при нарастании концентрации активированных форм кислорода, изменении структуры мембран.

Следующий рецептирующий компонент - ионы, степень гидратации которых определяет разнообразие реакций при действии ЭМП. Увеличение связей между молекулами воды уменьшает гидратацию ионов, ослабление связей - усиливает ее [1]. Внешнее ЭМП воспринимается также нуклеиновыми кислотами. При действии излучения с длиной волны, соответствующей полосе поглощения, наблюдается либо разрушение связей, либо передача энергии другим молекулам, либо излучение энергии возбужденной молекулой [5,6].

Один из наиболее важных признаков живого - обмен информацией между его составными элементами. Он осуществляется внутренними ЭМП [6-9], молекулами циклических нуклеотидов, белков, ферментов, а также некоторыми клетками [10,11], что приводит к формированию процессов деления, интеграции, узнавания клетками друг друга [12-16]. Наиболее полно обмен информативными молекулами разработан в теории креаторных связей [17]. На интенсивность обмена информацией влияет как состояние внутриклеточного метаболизма, так и состояние мембран для информативных молекул, вызывая "возмущение" в каналах передачи информации, что приводит к изменению отдаленных не облучаемых клеток. Возможно также непосредственное влияние на информативную связь, осуществляемую внутренними ЭМП.

Рассмотрим применение каждого из диапазонов ЭМП - от гамма-излучений до радиоволн в диагностических и терапевтических целях, обосновывая эффективность действия этих методов теми влияниями, которые наблюдаются в организме при действии конкретного вида излучений.

Ионизирующее излучение

Различают прямое воздействие ионизирующего излучения на молекулы, приводящее их в состояние возбуждения или к разрушению, и опосредованное воздействие - на реакции между макромолекулами и "активированными" молекулами воды [18]. В самые ранние сроки после облучения отмечается повышение количества радиотоксинов. Показано, что молекулы радиотоксинов находятся в свободнорадикальном состоянии [19,20] и усиливают СРПО [20-22]. Ионизирующая радиация на биохимическом уровне вызывает нарушение процессов гликолиза и окислительного фосфолирования как при непосредственном воздействии на ферменты и мембраны, так и при опосредованном действии через увеличение СРПО, которое также оказывает разобщающее воздействие на процессы окисления. В повреждающем действии важная

роль принадлежит кислороду, по этой причине оксигенация увеличивает поражение, а гипоксия оказывает защитное воздействие /23/. Повреждающее действие выражено у активных форм кислорода - супероксид-анион радикала - и усиливается как по причине их образования под действием облучения, так и в силу ингибирования супероксиддисмутазы, понижающей уровень активных форм кислорода.

В терапевтических целях ионизирующая радиация применяется для полного разрушения патологических очагов (опухоли) и для замедления патологических процессов (патохимических и патофизиологических), например хронического воспаления (болезнь Бехтерева, упорные к лечению формы радикулитов и др.). Введением изотопов, селективно накапливающихся в органах и тканях, также воздействуют на патологические процессы до полного разрушения патологических очагов (опухоли щитовидной железы, болезни крови и др.).

Диагностическое использование ионизирующей радиации основано на различной проницаемости тканей для этого излучения. При изменениях в органах (опухоль, туберкулез, повреждения) можно видеть на рентгеновских снимках соответствующее изменение /24/. Внутреннее ЭМП данного диапазона образуется при распаде естественных изотопов и действии космического излучения. Однако введением радиоактивных изотопов уровень излучения можно повысить и получить информацию о состоянии органов и тканей. Распределение изотопов определяется функциональным состоянием органов, избирательным поглощением различных изотопов, что позволяет выявить начальные стадии заболевания /25/.

При больших дозах облучения отмечается развитие астенизации организма, ослабление функций систем и органов, снижение иммунологической защиты. Ослабление функций в первую очередь затрагивает нервную систему.

Ультрафиолетовая (УФ) радиация

Первичной воспринимающей структурой, по-видимому, являются молекулы белка, с которых энергия возбуждения передается на молекулы липидов, стимулируя СРПО /26-30/. УФ поглощают также нуклеиновые кислоты, каротиноиды, хиноны, цитохромы и некоторые другие пигменты. На клеточном уровне это приводит к разрушению мембран, микросом, выходу метаболитов и ферментов в цитоплазму, что еще более ухудшает повреждение /31/. Наблюдаются мутагенные и летальные эффекты, зависящие от дозы облучения, длины волны, состояния облучаемых объектов, наличия в них защитных систем (антиоксиданты, ферменты репарации и др.).

УФ-радиация, являясь неспецифическим стимулятором физиологических процессов организма, воспринимается поверхностью кожи, внутренние ткани надежно защищены от ее действия. Подводя световоды к тканям, можно наблюдать разнообразные эффекты от УФ-радиации; если такой структурой будет мозг, то возможно развитие некоординированных движений, эпилеп-

тических припадков (наши предварительные эксперименты). УФ-радиация применяется при лечении тонзиллитов, болезней кожи (зимняя форма псориаза, язвенное повреждение кожи), воспалительных и трофических процессов. В естественных условиях УФ-излучение представлено в солнечном спектре и находит применение в гелиотерапии совместно с действием оптического и инфракрасного излучений.

Установлено следующее соответствие между длинами волн УФ-радиации и биологическим действием: 180–275 нм – повреждающее действие, 275–400 нм – антирахитическое и слабобактерицидное, 320–400 нм – эритемнозагарное действие. Основой применения внешнего УФ для диагностики является тот факт, что при развитии патологических изменений меняется структура белков, ферментов, мембран, следовательно, изменяется реакция организма на облучение – изменяется флуоресценция тканей, что позволяет установить наличие патологии, например развитие опухоли [32-33]. Регистрация эндогеннообразуемых полей позволяет обнаружить в одних случаях снижение интенсивности УФ-излучения (опухоль) [34], в других – увеличение его (болезнь сосудов). В настоящее время внутреннее УФ-излучение регистрируется совместно с оптическим на установках по определению сверх-слабого свечения [35].

Оптическое излучение (ОИ)

Эффект действия ОИ определяется присутствием в биообъектах молекул и структур, поглощающих длины волн ОИ (фотосинтез, рецепция света глазом, зритемное воздействие и др.) [36-38]. При воздействии ОИ значительной мощности необходимо учитывать слагаемые от ударных процессов и теплового повреждения тканей. ОИ влияет на структуры мембран (воздействие слабых потоков в течение примерно 60 мин) и на активность мембраносвязанных ферментов.

В терапии ОИ используется для повышения неспецифической резистентности организма, а также (при большой интенсивности) – для разрушения поверхностно расположенных очагов.

Применение оптического и УФ-излучения совместно с фотосенсибилизаторами (8 метоксипсорален, метксален, гематопорфирин и его производные) увеличивает эффект при лечении псориаза, некрозов и опухолей [39-40]. Более выраженные эффекты наблюдаются при использовании оптических квантовых генераторов (лазеров) для лечения глаз, кожных болезней, опухолей, особенно меланом [41,42]. Интересен факт, что облучение одной опухоли вызывает регресс другой, расположенной отдельно и не облученной [43,44]. Поскольку титр противоопухолевых антигенов не возрастал, значит, имеются другие механизмы защиты в организме помимо иммунологической, а именно – неиммунологическая система, включающая тиоловые соединения, антиоксиданты, липиды, липазы, супероксиддисмутазы и др. [45-47]. Все перечисленные соединения имеют связь с генерацией организмом ЭМП. Возможно, что внутренние ЭМП самостоятельно выполняют некоторую защитную роль. Ис-

ходя из различной чувствительности составных частей организма к разным длинам волн, считается возможной "настройка" лазерного излучения на селективное взаимодействие с определенными тканями, особенно при введении селективно поглощающих красителей /48/. Это позволит не только изменить состояние тканей, но и перестроить измененные ткани в нужном направлении.

В диагностических целях внешнее излучение применяется для осмотра пазух, полостей тела и кожных поверхностей. Внутреннее ОИ регистрируется хемолюминесцентным методом в нативных тканях или сыворотке крови /35/. Нами показана возможность создания камер для определения суммарного ОИ организма или некоторых его частей. Они напоминают камеры для исследования общего обмена, однако для регистрации ОИ используются определенные ФЭУ (ФЭУ 37, ФЭУ 42, ФЭУ 42б, ФЭУ 85 и др.). Отмечено, что при наличии незначительного венозного застоя в нижних конечностях наблюдается возрастание ОИ с конечностей. При различной патологии уровень ОИ сыворотки крови или гомогената ткани меняется: повышается (атеросклероз, лучевая болезнь, туберкулез) или понижается (опухолевые процессы, гипоэндокринные процессы /42-52/). Уровень ОИ зависит от уровня и вариаций СРПО.

Инфракрасное (ИК) излучение

ИК-излучение вызывает возбуждение молекул, комплексов и структур. Однако возбуждение затрагивает преимущественно вращательную и колебательную способности молекул. При длительном или интенсивном воздействии ИК-лучей меняется структура мембран, активность ферментов. В результате при поглощении тканями ИК-излучения развиваются местные процессы: увеличивается проницаемость кровеносных и лимфатических сосудов, освобождаются биологически активные вещества. В дальнейшем присоединяются общие процессы: изменение температуры, интенсификация обмена, увеличение числа эозинофилов и СОЭ, стимуляция иммуногенеза. При интенсивном ИК-излучении происходят процессы разрушения организма.

В терапевтических процедурах ИК-излучение используется как составной элемент гелиотерапии и совместно с другими видами излучений (ОИ, УФ) при лечении кожных болезней и астенизации организма.

Воздействие внешнего ИК-излучения для диагностических целей практически не используется, за исключением тех случаев, когда дискомфорт человека при нахождении в поле ИК-радиации расценивается как ответ астенизированного организма с хроническими воспалительными процессами (туберкулез, болезнь Бехтерева).

Интересным и перспективным является регистрация внутреннего ИК-излучения организма, уровень которого меняется при развитии патологического процесса. Эти изменения в органах и тканях выявляются в начальных стадиях и увеличиваются по мере развития патологии. Регистрация внутреннего ИК-излучения используется для диагностики болезней нервной,

сердечно-сосудистой систем и др.Теоретически можно предположить, что при наличии приборов достаточно высокой чувствительности возможна регистрация любых изменений процессов метаболизма /53-57/.

Радиоволновое излучение

Физической основой для действия радиоволн на организм является наличие в нем ионов, диполей, свободных радикалов, полярных микро- и макромолекул, наличие внутренних ЭМП и электрических токов. Биологичес - кий эффект определяется длиной волны действующего излучения, интенсивностью, важностью для организма воспринимающих поле структур, селективностью воздействия.

В действии внешнего радиоволнового излучения различают: I) тепловое действие эндогенного характера; 2) селективное действие, т.е. поглощение определенными тканями энергии различных диапазонов длин волн; 3)специфическое действие на определенные органеллы /58-60/.

Энергия внешних ЭМП поглощается тканями за счет диэлектрических потерь, ионной проводимости, резонансных явлений. Резонансное поглощение становится возможным, когда частота внешнего воздействия близка к частоте собственных колебаний макромолекул, их комплексов и боковых цепей. Для резонансного взаимодействия необходимо наличие воспринимающих структур - УВЧ, например, поглощается преимущественно боковыми молекулами а микроволны - комплексами молекул воды / 5, 60 /. Яркое подтверждение эффекта резонансного воздействия СВЧ излучений было получено в опытах с гемоглобином. Установлено, что облучение одной длиной волны (7 мм) приводит к выраженным изменениям (диссоциации молекулы гемоглобина на субъединицы), а действие другой длины волны, даже достаточно близкой, эффекта не оказывает /6I-63/. Для резонансного взаимодействия характерны выраженные изменения в организме при действии слабых потоков излучения. Биологические эффекты могут измениться, если в падающем потоке сохранится несколько длин волн, для каждой из которых в организме имеется резонансно настроенная структура.

К действию внешних ЭМП радиодиапазона высокую чувствительность проявляет нервная система. При недозированном облучении отмечаются жалобы на общую слабость, снижение памяти, внимания, работоспособности, бес - сонницу. У экспериментальных животных нарушается условнорефлекторная деятельность, изменяется биоэлектрическая активность мозга и др./64/. Малые дозы микроволн ингибируют СРПО.

Возможности применения ЭМП в терапии полностью не раскрыты. В медицине используются ЭМП различных частотных диапазонов: УВЧ терапия, импульсная УВЧ терапия, индуктотермия, сантиметровая, дециметровая СВЧ терапия, импульсная СВЧ терапия. В терапии также используются постоянные электрические поля (франклинизация), переменные МП низкой частоты (магнитотерапия).

Применение ЭМП, а также внешних статических полей основано на изменении диэлектрических свойств тканей при патологических процессах. Оп-

ределяя эти изменения, можно получить ценные диагностические признаки. Регистрация внутренних ЭМП радиодиапазона нашла клиническое применение в виде магнитокардиографии, магнитоэнцефалографии. Эти методы не требуют наложения электродов или каких-либо других манипуляций на пациенте. Использование данных о биополях (см. т.I, гл. I, раздел 3) даст новые возможности в бесконтактной диагностике. Эти методы требуют клинического осмысливания и дальнейшего изучения, поскольку регистрируемые ЭМП внутреннего происхождения продемонстрированы на незначительном контингенте больных и малом числе нозологических форм. Возможности использования внутренних ЭМП в терапии недостаточно ясная проблема. По-видимому, о подобном воздействии можно говорить при аутотренинге и бальнеологическом лечении. Внутренние ЭМП затрагиваются при лечении антиоксидантами, при использовании ингибиторов супероксиддисмутазы, при действии внешних излучений. Однако методы целенаправленного влияния на внутренние эндогенные ЭМП, а также электромагнитные "каналы" связи в организме не ясны в настоящее время. Требуются дальнейшие исследования, чтобы определить роль внутренних ЭМП и возможности управления ими. Очень перспективным для терапии является поиск резонансных структур организме и создание "мозаики" действующих на них внешних излучений.

Литература

I. Аскоченокая Н.А., Петинов Н.С. Структура воды и ее роль в биологических системах. - Успехи соврем. биол., I972, т. 73, с. 288–305.
2. Привалов П.Л. К вопросу о состоянии и роли воды в биологических системах. - Биофизика, I958, т. 3, № 6. с. 738–742.
3. Сент-Дьердьи А. Биоэнергетика. М.:Физматгиз, I960. I55 с.
4. Василенко Ф.Д. Физическое обоснование действия физических факторов на организм. - В кн.: Физические факторы в комплексном лечении и профилактика внутренних и нервных болезней / Под ред. А.Н.Обрссова . М.:Медицина, I97I, с. 29–I04.
5. Самойлова К.А. Действие ультрафиолетовой радиации на клетку. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, I967. I96 с.
6. Мостовников В.А., Хохлов И.В. Взаимодействие клеток человека с помощью электромагнитных волн оптического диапазона. Препринт №I28, Минск: Наука и техника, I977.
7. Казначеев В.П. О межклеточных дистантных взаимодействиях в системе двух тканевых культур, связанных оптическим контактом. - В кн.: Сверхслабые свечения в биологии. М.: Наука, I972, с. 224–227.
8. Ивлиев Ю.А. Некоторые возможные механизмы информационного взаимодействия в молекулярных физико-биологических системах. - Биофизика, I976, т.2I, вып.I, с.I5 - 20.
9. Тарусов Б.Н. Информационное значение сверхслабого свечения. - Тр. МОИП, М.: Наука, I972, т.39, с. 9–I6.
I0. Меерсон Ф.З. Пластическое обеспечение функций организма. М.: Наука, I967. 3I8 с.

II. Межклеточные взаимодействия в дифференцировке и росте: Матер.симпоз. 18–21 ноября в Тбилиси/Под ред Г.В. Лопашова. М.: Наука, 1970. 255 с.
12. Дорофеев Г.И., Кожемякин Л.А., Ивашкин В.Г. Циклические нуклеотиды и адаптация организма. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1978. 182 с.
13. Певзнер Л.З. Функциональная биохимия нейроглии. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1972. 199 с.
14. Певзнер Л.З. Обмен нуклеиновых кислот и белка в нервной системе. – В кн.: Итоги науки и техники. Физиология человека и животных. М., 1972, т. 10, с. 124–199.
15. Трумэн Д. Биохимия клеточной дифференцировки. М.: Мир, 1976. 188 с.
16. Федоров Н.А. Биологическое и клиническое значение циклических нуклеотидов. М.: Медицина, 1979. 184 с.
17. Косицкий Г.И., Ревич Г.Г. Креаторная связь и ее роль в организации многоклеточных систем. М.: Наука, 1975. 124 с.
18. Окада Ш. Радиационная биохимия клетки. М.: Мир, 1974, 407 с.
19. Серкиз Я.И., Рябова Э.З., Чеботарева Е.Е. Спонтанное и индуцированное излучение сыворотки крови, как показатель степени лучевого поражения животных. – Радиобиология, 1975, т. 15, № 5, с. 716–721.
20. Эйдус Л.Х. Молекулярный механизм повреждения клеток и защита от действия ионизирующей радиации. – Радиобиология, 1973, т. 13, № 5, с. 651–661.
21. Бурлакова Е.Б., Алесенко А.В., Молочкина Е.М. Биоантиоксиданты в лучевом поражении и злокачественном росте. М.: Наука, 1975. 213 с.
22. Тарусов Б.Н. Хемилюминесценция липидов при облучении. – В кн.: Первичные и начальные процессы биологического действия радиации. М.: Наука, 1972, с. 50–54.
23. Рампан Ю.И., Анохин Ю.Н. Проблема усиления биологического действия ионизирующих излучений. – Радиобиология, 1975, т. 15, № 6, с. 843–849.
24. Фанарджян В.А. Рентгенодиагностика. Ереван: Айастан, 1977. 606 с.
25. Фатеева М.Н. Очерки радиоизотопной диагностики. М.: Медгиз, 1960. 268 с.
26. Орлов С.Н., Малков Ю.А., Ребров В.Г., Ранилов В.С. Свободнорадикальное окисление липидов биологических мембран. – Биофизика, 1976, т. 21, № 2, с. 276–279.
27. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1972. 252 с.
28. Конев С.В., Волотовский И.Д. Введение в молекулярную фотобиологию. Минск: Наука и техника, 1971. 230 с.
29. Владимиров Ю.А. Хемилюминесценция, сопряженная с образованием липидных перекисей в биологических мембранах. IX. Свечение в присутствии люминола. – Биофизика, 1972, т. 17, № 4, с. 702–706.
30. Волотовский И.Д., Шейко Л.М., Конев С.В. Влияние УФ света на структуру мембран эритроцитов и на каталитические свойства мембранной

ацетилхолинэстеразы. – Молекуляр. биология, 1976, т. 10, № 5, с. 1027–1034.
31. Зотиков Л.А., Пинчук В.Г. Некоторые аспекты проблемы лизосом. – Цитология, 1969, т. 11, № 10, с. 1205–1220.
32. Карякин А.В., Анисимова И.Н. Флуоресценция легочной ткани в норме и при раке легкого. – Биофизика, 1962, т. 7, № 2, с. 146–149.
33. Брумберг И.Е., Шунаева С.Е. Ультрафиолетовая флуоресценция лейкоцитов крови при их повреждении. – Цитология, 1964, т. 66, № 6, с. 766–768.
34. Гурвич А.Г., Залкинд С.Я., Песоченский Б.С. Учение о раковом тушителе: Теория и клиника. М.: АМН СССР, 1947, 99 с.
35. Гербек Э.Э., Афризмон А.Ф., Гербек Г.В. Метод регистрации сверхслабого свечения живой ткани. – В кн.: Новые методы диагностики и лечения, разработанные в Томском медицинском институте. Томск; ТГУ, 1974, вып. 2, с. 111–113.
36. Сазоненко М.К. О фотодинамической стиуляции скелетной мышцы лягушки. – Биофизика, 1963, т. 8, № 6, с. 681–689.
37. Тамар Г. Основы сенсорной физиологии. М.: Мир, 1976, 520.с.
38. Пэдхэм Ч., Сондэрс Дж. Восприятие света и цвета. М.: Мир, 1978, 256 с.
39. Parrish I.H., Fitzpatrick T.B., Tanaabaum L., Pathak M.A. Photochemotheraphy of psoriasis with methoxalen and longwave ultraviolet light.- N. Engl. J. Med., 1974, vol. 291,N.23, p.1207-1211.
40. Swanbeek J. Thyresson-Hok M., Bredberg A., Lambert B. Treatment of psoriasis with oral psoralens and longwave ultraviolet light.-Acta dermatovener., 1975, vol. 55, N 5, p. 367-376.
41. Гамалея Н.Ф. Лазеры в эксперименте и клинике. М.: Медицина, 1972, 232 с.
42. Пигментные опухоли /Под ред. Р. Иконописова . София: Медицина и физкультура, 1977, 268 с.
43. Klein E., Klein I. Antigenic properties of lymphomas induced by the Moloney agent.- J. Nat. Cancer Inst., 1964, vol.32, p.547-568.
44. Goldman L., Rochwell R.I. Lasers in medicine. N.J. Gordon a. Breach, 1971, 385 p.
45. Appfel C.A. Nonimmunological host defenses.- Rev. Cancer Res.,1976, vol. 36, p. 1527-1537.
46. Fridovich I. Superoxide dismutases. Advances in enzymology. N.J. ets., 1974, vol. 41, p. 36-97.
47. Ланкин В.З. Защитные ферментные системы и перекисное окисление липидов в норме и патологических состояниях. – В кн.: Симпозиум "Биоантиоксиданты в регуляции метаболизма в норме и патологии". Тезисы докладов. Черноголовка, 1978, с. 23–25.
48. Лазеры на красителях (под ред. Ф.П. Шефера). М.: Мир, 1976, 329 с.
49. Журавлев А.И. Спонтанное метаболическое свечение плазмы и сыворот-

ки крови в видимой области спектра. – В кн.: Сверхслабые свечения в медицине и сельском хозяйстве: Тр. МОИП. М.: Изд-во МГУ, 1974, т.50, с. 9–27.

50. Журавлев А.И., Журавлева А.И. Сверхслабое свечение сыворотки крови и его значение в комплексной диагностике.М.:Медицина, 1975, 128 с.

51. Владимиров Ю.А., Арчаков А.А. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1978, 252 с.

52. Коган А.Х. Свободнорадикальное перекисное окисление липидов и патогенез коронарооккклюзионного инфаркта миокарда. – В кн.: Свободнорадикальное окисление липидов в норме и патологии. М.: Наука, 1976, с. 68–71.

53. Миркин Л.И., Стерлин Ю.Г. Статическая модель термографических изображений медико-биологических объектов. – Мед. радиология, 1977, т. 22, № 3, с. 38–49.

54. Морозов К.А., Валенкевич Л.Н., Мельникова В.П. и др. Термография в диагностике некоторых хронических заболеваний органов пищеварения. – Врачеб. дело, 1979, № 4, с. 73–76.

55. Солдаткина Л.В., Гасилин В.С., Неретин В.Я. и др. Значение термографии в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний.–Терапевт. арх., 1976, т. 48, № 9, с. 96–101.

56. Хондкариан О.А., Ступин И.Д., Богин Ю.Н., Глориозова Т.Г. Использование тепловидения при массовом обследовании с целью выявления начальных стадий каротидной недостаточности. – Тр. Горьк. мед. ин-та, 1977, вып 82, с. 93–94.

57. Зарецкий В.В., Выховская А.Г. Клиническая термография. М.: Медицина, 1976. 168 с.

58. Быкова Е.Б., Файтельберг Бланк В.Р. Изучение активности окислительно-восстановительных реакций в органах пищеварения для оценки действия СВЧ. – В кн.: Вопросы курортологии: Тез. докл. межресп. науч.-практ. конф. врачей-курортологов. Минск, 1973, с. 72–73.

59. Габович Р.Д., Никберг И.И. Гигиенические аспекты гелиометеорологических воздействий в патологии органов кровообращения. – Гигиена и санитария, 1978, № 3, с. 94–97.

60. Скурихина Л.А. Современное состояние высоко-, ультравысоко- и сверхвысокочастотной электротерапии.–В кн.: Вопросы высоко-, ультравысоко- и сверхвысокочастотной электротерапии. М., ЦНИИКиФ , 1971, с. 5–20.

61. Девятков Н.Д., Храпов В.В., Гарибов Р.Э. Влияние миллиметрового излучения малой интенсивности на гамма-резонансные спектры гемоглобина. – Докл. АН СССР, 1975, т. 225, № 4, с. 962–965.

62. Кудряшова В.А., Ильина С.А., Фалеев А.С. Исследование резонансного воздействия волн миллиметрового диапазона на гемоглобин. – В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. М., 1972, с. 64–65.

63. Коренева Л.Г., Гайдук В.И. О принципиальной возможности резонанс - ного взаимодействия сверхнысокочастотных колебаний на гемоглобин. - Докл. АН СССР, 1970, т. 193, № 2, с. 465-468.
64. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.; Наука, 1975. 207 с.

4. Методы измерения электрических параметров клеток и их использование в биологии и медицине

Основы электрофизики клетки были заложены в 30-е годы. Однако в последнее время интерес к этой области биофизики вновь возрастает. Связано это с появлением современных автоматизированных приборов для измерения электрических параметров клеток и развитием новых подходов к изучению и интерпретации результатов электрофизических измерений. Для современного этапа изучения электрофизики клетки характерен рост числа прикладных исследований и комплексный подход в изучении нескольких электрических параметров клеток с привлечением различных методов. Основное преимущество электрофизического исследования клеток состоит в том, что его можно проводить достаточно быстро, не нарушая целостности клеток, при минимальном искажающем влиянии внешних факторов. Все это выгодно отличает электрофизические методы исследования от ряда других, например химических.

Исследование электрических параметров клеток дает возможность изучать структуру и свойства клеточной поверхности и внутриклеточного содержимого, механизмы проницаемости клеточных мембран, характеризовать физиологическое состояние клеток в процессе их развития или повреждения в результате внешних, в том числе и медикаментозных, воздействий. Наиболее часто используются следующие электрические параметры клеток: электрокинетический потенциал, электрофоретическая подвижность, электрическая поляризуемость, удельная электропроводность, диалектрическая проницаемость и поверхностный заряд.

Практическое использование электрокинетических исследований клеток крови определяется большой биологической значимостью заряда клетки, как характеристики свойств и структуры клеточной поверхности. Именно они определяют регуляцию транспорта веществ через поверхность и взаимодействие клеток между собой и с внешней средой [1, 2]. Агрегативная устойчивость клеток, реология крови и деформируемость эритроцитов, пространственно-структурная организация движущейся крови в крупных кровеносных сосудах и микроциркуляция в капиллярах, оценка зрелости клеток и фаз клеточного цикла, изменение клеточной поверхности разных возрастных групп эритроцитов, взаимодействие антигенов и антител на клетсчных поверхностях - во всех этих областях важную роль играют электрокинетические характеристики клеток, связанные с их биологическими функциями.

Использование в клинической практике электрокинетических характеристик клеток крови основано на том, что для поддержания оптимального состояния гемостаза организма форменные элементы крови должны обладать устойчивым зарядом /3/. Изменение его является интегральным показателем сложных патологических изменений кровообращения и биохимических сдвигов в организме.

В электрокинетических измерениях экспериментально определяемым параметром является скорость движения клетки в суспензии под действием постоянного однородного электрического поля, по которой рассчитывают электрокинетический потенциал и плотность поверхностного заряда иоследуемых клеток. Общепринято использовать нормированную скорость - отношение окорости движения клетки в электрическом поле к его напряженности - электрофоретическую подвижность (ЭФП). При оформлении результатов электрокинетических измерений целеоообразно пользоваться экспериментально полученной гистограммой о подобранным шагом по подвижностям, а в случае сравнительно гомогенной суопензии - средним значением ЭФП и дисперсией. Для гетерогенных суспензий, состоящих из нескольких субпопуляций клеток, среднее значение ЭФП серии измерений теряет смысл.

Наиболее распространенными в настоящее время методами измерения ЭФП являются микроэлектрофорез, метод препаративного разделения по зарядам частиц гетерогенной суспензии в свободном потоке /4-6/ и метод лазерной доплеровской спектроскопии /7/. Во всех перечисленных методах измеряется ЭФП клеток, разница между ними заключается лишь в способах регистрации.

В работе /8/ описана микроэлектрофоретическая полуавтоматическая установка, в которой вместо традиционной методики измерения времени прохождения клеткой заданного пути определяется расстояние, пройденное ею в электрическом поле за фиюсированное время. Это позволяет повысить точность одного измерения, и оократить общее число измерений при среднеквадратичной погрешности не более 3%. Следует также отметить автоматическую установку /9/ для микроэлектрофореза, где используется гелий-неоновый лазер и вращающийся с заданной скорсстью диск с радиальными щелями, через которые отраженный от движущихся клеток свет лазера, попадает на фотодетектор. Сигнал с детектора поступает на электронное уотройство, преобразующее сдвиг чаототы на величину ЭФП клеток. Этот метод измерения ЭФП более чувствителен, чем метод доплеровской спектроскопии и позволяет определить ЭФП клеток с высокой точноотью за короткий промежуток времени.

В настоящее время известны две промышленные установки для микроэлектрофореза: цитоферометр "Оптон" (ФРГ) и "Пармоквант" (ГДР). Цитоферометр - компактный и простой в обращении прибор. Но ручной режим работы делает измерения очень трудоемкими и длительными с погрешноотью более 3%. "Пармоквант" /10/ - полностью автоматизированный прибор для микроэлектрофореза. В нем предусмотрены три режима работы: ручной, полуав-

томатический и автоматический; используются разные варианты обработки результатов измерений на ЭВМ и вывод результатов на печатающее устройство. Полная автоматизация ввода пробы, измерений и обработки результатов позволяет быстро (ЭФП ота клеток измеряется за несколько минут) и с высокой точностью (I%) получить результаты в виде таблицы или гистограммы с результатами расчета основных значений (среднего значения ЭФП, дисперсии, числа измеренных клеток).

Принцип метода препаративного разделения по зарядам [4-6] заключается в том, что гетерогенная суспензия, подлежащая разделению, вводится тонкой струйкой в равномерно текущий поток жидкости, поперек которого приложено электрическое поле. Вследствие различного смещения клеток под действием поля исходная струя разделяется на фракции, которые отбираются коллектором в разные пробирки. Этот метод позволяет быстро (десятки-сотни секунд) без больших повреждений препаративно разделить по зарядам разные биологические суспензии - клеточные, субклеточные, молекулярные. Разрешающая способность этого метода несколько меньше, чем метода электрофореза на поддерживающих средах, но он незаменим в тех случаях, когда необходима высокая скорость разделения.

С середины 70-х годов несколько фирм ФРГ (Бендер и Хобейн, Лабомед, ДЕСАГА, Биотроник) и США (Бриикман Инструментс) освоили промышленный выпуск приборов для рассматриваемого метода препаративного разделения электрофорезом в свободном потоке (модели Эльфор-5, ФФ-48). Эти приборы имеют прямоугольную камеру, эффективное термостатирование, инжектор для равномерного ввода суспензии в камеру разделения и некоторые непринципиальные технические различия. Разрешающая способность приборов по измерению подвижностей (порядка 10^{-9} $м^2/с \cdot В$) и производительность (I-3 мл/час) всех устройств примерно одинакова. В последней модели прибора "Эльфор II" есть блок оптической регистрации фракций в процессе разделения. Результаты оптического анализа обрабатываются и выводятся на печатающее устройство в виде гистограммы.

При измерении электрокинетических характеристик клеток крови следует иметь в виду, что вещества, добавляемые в кровь для предотвращения ее коагуляции (антикоагулянты) могут существенно исказить результаты измерений. В частности, прединкубация с гепарином приводит к необратимому увеличению ЭФП клеток крови. Эффект действия гепарина пропорционален его концентрации и характеризуется разной степенью влияния на субпопуляцию клеток в гетерогенной суспензии [II]. Прединкубация форменных элементов крови в течение I5 мин с I%-м раствором цитрата натрия, 0,I35%-м раствором оксалата натрия, 0,25 и 0,5%-м раотворами ЭДТА не оказывает необратимого воздействия на величину заряда клеточной поверхности, следовательно при электрокинетических измерениях эти вещества в данных концентрациях могут быть использованы в качеотве антикоагулянтов. При длительной работе с клетками крови ЭФП эритроцитов уменьшается [I2]. С целью воспроизведения результатов из-

мерений ЭФП клеток крови их неоднократно "отмывают" центрифугированием и затем помещают в известный буфер. Эти методические процедуры могут изменить поверхность клеток и тоже исказить результаты измерений. Так, ЭФП эритроцитов, отмытых 0,85%-м раствором хлористого натрия, увеличивается [13], однако они гибнут быстрее (особенно пятикратно отмытые эритроциты), чем в плазме крови.

В последние годы было опубликовано несколько новых способов и устройств по изучению электрокинетических характеристик клеток и использованию этих характеристик для препаративного разделения.

В работах [14,15] для измерения ЭФП эритроцитов использован метод флуоресцентных зондов, который заключается в одновременной регистрации объема клеток и интенсивности флуоресценции после добавления в суспензию поликатионов, окрашенных флуоресцеин-изотиоцианатом. Оказалось, что средняя интенсивность флуоресценции в I мкм^2 поверхности клетки пропорциональна ЭФП эритроцитов и является мерой плотности поверхностных отрицательных зарядов клетки. С целью изучения распределения плотности поверхностных отрицательных зарядов в работе [16] использован метод микрофотографий, полученных с помощью электронной микроскопии. Для увеличения разницы в ЭФП отдельных групп клеток в гетерогенной суспензии поверхность клеток модифицируют путем добавления в суспензию микросфер [17]. Для получения узкоспецифической модификации только одного вида клеток микросферы предварительно иммунологически сенсибилизируют, т.е. намного увеличивают их сродство с клетками определенного вида. После такой обработки авторам удалось электрофоретически разделить два вида эритроцитов (человеческие и индюшиные), которые до обработки имели близкие значения ЭФП.

Интересен метод выделения эритроцитов из цельной крови путем использования магнитного поля [18]. Сущность его заключается в том, что при пропускании цельной крови через фильтр (проволочную сетку, помещенную между полюсами магнита) при определенных скоростях протока и напряженности МП все эритроциты задерживаются, а лейкоциты и тромбоциты проходят через сетку. Однако живые и неживые лимфоциты периферической крови в неоднородном поле ведут себя по-разному – живые выталкиваются из области сильного МП, а нежизненные перемещаются по градиенту его напряженности [19]. Исходя из этого, методика выделения эритроцитов магнитным путем нуждается в некотором уточнении.

Измерение ЭФП клеток находит в настоящее время применение при изучении нормальных и патологических изменений в организме при различных внешних воздействиях и заболеваниях: иммунологических, онкологических, сердечно-сосудистых и др. [20-24].

В иммунологических и гистологических исследованиях на клетках животных использовался проточный электрофорез [22]. Значительная часть работ [21, 25] посвящена клиническому использованию клеточного электрофореза в онкологии. Отмечено изменение ЭФП тромбоцитов в начальной

стадии инфаркта миокарда и при артериальном тромбозе в ограниченный период времени (для инфаркта - в течение 10 час, для тромбоза - в течение 24 час) [26]. Дальнейшее изменение ЭФП проследить не удалось, так как использование в лечебной практике антикоагулянтов (в особенности гепарина) приводит к восстановлению нормального значения ЭФП. Стрессовые состояния снижают ЭФП, что в значительной степени сказывается на повышении агглютинации форменных элементов крови [27]. Любые неблагоприятные воздействия на эритроциты ведут к разрушению менее стойких старящих эритроцитов, обладающих меньшим зарядом. Установлено [28, 29], что старение эритроцитов связано с увеличением положительно заряженных групп на мембране. Исследование распределения эритроцитов по фракциям при препаративном разделении проточным электрофорезом крови больных пароксимальной ночной гемоглобинурией и гипопластической анемией показали, что среднее значение ЭФП эритроцитов у больных ниже, чем у здоровых [30].

Обширную информацию о электрофизических свойствах клеток дают методы диалектрической спектроскопии, предназначенные для измерения диалектрической проницаемости и удельной электропроводности клеток. В частности, изучение частотной зависимости этих электрических параметров позволяет определить свойства клеточных мембран и цитоплазмы в нативном состоянии [31,32].

Наиболее широкое применение при измерении диалектрических характеристик суспензий нашли мостовые методы [33]. Следует отметить, что мосты с индуктивно связанными плечами (трансформаторные мосты) обеспечивают более высокую чувствительность и простую защиту от паразитных связей [34]. Основная трудность при мостовых измерениях в мегагерцовом диапазоне заключается в выборе образцовой меры активных сопротивлений, так как на этих частотах необходимо использовать безреактивные резиторы с минимальными значениями паразитных емкостей и сложную кинематическую схему переключения. Одним из авторов обзора уравновешивание моста по активной составляющей проводилось путем изменения электропроводности жидкости в ячейке, включенной в эталонное плечо моста. В мегагерцовом диапазоне частот применяют также методы, основанные на использовании резонансных контуров. В качестве примера можно привести методы коммутируемого [35] и регенерированного [36] контуров. Применяют также метод синхронного детектирования [37], который позволяет выделить активную и реактивную составляющие сигнала, несущего информацию о параметрах объекта. Подробное описание различных измерительных ячеек для диалектрических измерений дано в обзоре [38]. Различные аспекты интерпретации диалектрических измерений обобщены в монографии [39].

Применение диалектрической спектроскопии в медицине определяется возможностью исследования с ее помощью клеточной проницаемости, содержания и подвижности белков, патологических процессов в органах и тканях, а также действия на ткани повреждающих факторов [4, 27, 31, 40,

41/. Однако, несмотря на большие потенциальные возможности метода диэлектрической спектроскопии, он все еще не нашел широкого применения на практике вследствие отсутствия специальной аппаратуры и неоднозначности интерпретации результатов измерений. За последние годы появился ряд работ, содержащих анализ результатов диэлектрических измерений на основе рассмотрения многооболочечной электрофоретической модели клетки /42/. Дальнейшее развитие данного направления повысит значимость диэлектрических измерений в научных и прикладных исследованиях.

В работах /43/ в широком диапазоне частот от 30 Гц до 30МГц ль ехния т

клеток, а их электрическую поляризуемость, равную отношению дипольного момента к напряженности ЭП.

Ориентация клеток асимметричной формы в ЭП приводит к возникновению ряда электрооптических явлений, обусловленных оптической анизотропией суспензии ориентированных клеток. На основе этих явлений разработаны электрооптические методы анализа электрических и геометрических свойств клеток путем измерения светорассеяния, двулучепреломления или дихроизма клеточных суспензий [49]. При электрооптическом исследовании клеток непосредственно измеренным параметром является величина электрооптического эффекта d, которую характеризуют безразмерным отношением [50]:

$$d = \frac{A_E - A_o}{A_o},$$

где A_o, A_E – оптическое свойство суспензии в отсутствие и при наложении электрического поля.

В общем виде зависимость электрооптического эффекта от параметров клеток, поля и среды выражается соотношением

$$d = d_\infty F(\rho, \gamma, E, T),$$

где d_∞ – эффект при полной ориентации клеток, зависящий от их геометрических и оптических параметров; F – функция, характеризующая зависимость эффекта от постоянного дипольного момента клеток p, от их электрической поляризуемости γ, напряженности электрического поля E и абсолютной температуры среды T; эта функция стремится к I при увеличении E. Подробный анализ функции F для различных электрооптических эффектов и ее связь с функцией распределения клеток по ориентациям выполнен в работах [49, 50].

К основным электрическим свойствам клеток, определяемым электрооптическими методами, относятся электрическая поляризуемость и постоянный дипольный момент.

Существует несколько независимых способов определения электрической поляризуемости клеток на основе электрооптических измерений.

I. Метод сравнения экспериментальной зависимости электрооптического эффекта от квадрата напряженности приложенного ЭП с теоретическими кривыми этой зависимости, вычисленными при различных отношениях постоянного и индуцированного моментов [52].

2. Метод с использованием нестационарных электрооптических эффектов. Используется два варианта измерений [50]. В первом из них определяют начальный наклон кривой нарастания эффекта и соотношение площадей, ограниченных кривыми нарастания и спада; во втором определяется минимальное значение напряженности ЭП, при котором нарушается начальная линейная зависимость. Приравняв энергию ориентации к энергии теплового движения, можно найти приближенное значение электрического момента.

3. Метод исследования частотной зависимости электрооптических эффектов, позволяющий различить постоянные и индуцированные дипольные моменты клеток. При этом используется тот факт, что клетки не могут ориен-

тироваться под действием постоянного момента, при частоте поля во много раз больше собственной частоты вращения клеток они не будут следовать за изменением поля [50].

Наиболее часто используют комбинацию первого и третьего из упомянутых выше методов. А именно: по начальному линейному участку зависимости электрооптического эффекта от квадрата напряженности электрического поля на частотах, где вклад постоянного момента равен нулю, определяют поляризуемость частиц по формуле [53]:

$$\gamma = \frac{4J_0}{F(k)} \quad kT\left(\frac{\Delta\alpha}{\Delta E^2}\right)_0^{\nu=\nu_i},$$

где $J_0 = \frac{\sin(2k)}{k} - \left(\frac{\sin k}{k}\right)^2$; $F(k) = \frac{J_0}{3} + \frac{\sin 2k}{4k^3} - \frac{1}{2k^2}$

$$k = k'l\sin(\theta/2); \quad k' = \frac{2\pi}{\lambda}; \quad \sin x = \int_0^x \frac{\sin t}{t}\,dt$$

l – длина клетки, апроксимируемой цилиндром, ν_i – частота поля, на которой измеряется эффект, λ – длина волны света в растворе; θ – угол наблюдения светорасоеяния; $(\Delta\alpha/\Delta E^2)^{\nu_i}$ – наклон кривой при $E \to 0$ и частоте ν_i ; k – постоянная Больцмана.

Вопрос о наличии у суспензионных частиц постоянного дипольного момента можно считать решенным только для частиц малого размера (несколько сот ангстрем, например, белковые молекулы). Для таких больших частиц как клетки данные о постоянном моменте весьма противоречивы. Поэтому авторы работы [49] делают вывод о том, что к изучению постоянного дипольного момента можно приступать только после накопления достаточной информации об электрической поляризуемости частиц, так как только ее можно измерять в чистом виде.

В настоящее время нет определенного мнения относительно того, в каком виде использовать электрическую поляризуемоть как параметр, характеризующий клетку. Предлагается [49] ввести понятие электрической поляризуемости на единицу длины, на единицу поверхности клетки или использовать некоторую функцию, которая зависит от соотношения осей клетки. В качестве другой возможности оценки свойств клетки предлагается вычислять электрический заряд [49] или эффективные диэлектрическую проницаемость и удельную электропроводность клеток [54-57] по их поляризуемости.

Электроориентацию и диэлектрофорез таких крупных частиц, как клетки, можно изучать путем наблюдения под микроскопом за поведением клеток в поле [4, 57].

В турбодиметрической методике регистрации электроориентации и диалектрического осаждения клеток [4] объединяются четыре существовавших ранее независимо друг от друга направления исследований электрических

свойств клеток: изучение электроориентации, диэлектрофореза, электрооптических и диэлектрических свойств клеток – в одно направление, обеспечивающее более полную биофизическую информацию о клетках с перспективой быстрого и надежного контроля их электрических параметров.

Для реализации турбодиметрического метода используется измерительная ячейка /58/. Эффекты электроориентации и диэлектрофоретического осаждения клеток оцениваются по величине относительного изменения оптической плотности суспензии. Надежное различие этих эффектов, когда первый из них вызывает увеличение, а второй – уменьшение оптической плотности суспензии, достигается путем пропускания светового пучка ортогонально плоскости решетчатых электродов ячейки. Разделение этих эффектов во времени достигается соответствующим выбором величины прикладываемого к электродам напряжения. Пути оптимизации электродной системы и геометрии измерительной ячейки рассматриваются в работе /59/. Наибольший практический интерес представляет исследование частотной зависимости электроориентационного и диэлектрофоретического спектров (см. т. 2, гл. II, п. 2.4).

В ряде случаев для надежной регистрации электроориентации возникает необходимость использовать высокие концентрации клеток в суспензии и повышенные напряженности ЭП, например при измерении клеток с малой асимметрией формы и низкой величиной электрической поляризуемости. При этом необходимо учитывать, что эти меры могут привести к изменению процесса ориентации клеток в поле. С ростом концентрации суспензии уменьшается расстояние между клетками и наблюдается усиление взаимного влияния наведенных электрических дипольных моментов клеток друг на друга и, как следствие, увеличение цепеобразования и агрегации клеток /60/. Увеличение напряженности ЭП может привести к изменению формы клеток /61/, проницаемости цитоплазматической мембраны /62/, а в случае применения неоднородного ЭП к наложению эффектов диэлектрофоретического осаждения и электроориентации при их регистрации турбидиметрическим методом (т. 2, гл. II, п. 2.4). Использование способа регистрации электроориентации, основной особенностью которого является одновременное определение изменений оптической плотности суспензии при двух взаимноперпендикулярных по отношению к направлению светового пучка ориентациях клеток в неоднородном ЭП, позволяет избежать отмеченных выше нежелательных эффектов. Для этой цели применяют двухлучевой фотометр и две измерительные ячейки, конструкция которых аналогична описанной выше. Подключение электродной системы ячеек к генератору осуществляется таким образом, что в одной ячейке силовые линии ЭП направлены вдоль светового потока, а в другой – поперек направления светового потока. Когда в первой ячейке происходит продольная по отношению к направлению света ориентация клеток, что вызывает увеличение потерь световой энергии и повышение оптической плотности суспензии, во второй ячейке наблюдается поперечная ориентация клеток и уменьшение оптической плотности суспен-

зии. В результате алгебраического суммирования сигналов от фотоприемников получают вдвое больший сигнал, чем при использовании одной измерительной ячейки. При этом значительно увеличивается отношение сигнала к шуму, обусловленного флуктуацией интеноивности источника света, а также происходит компенсация влияния на измерения диалектрофоретического осаждения клеток из-за однонаправленности соответствующих ему изменений оптической плотности в обеих ячейках. Увеличение точнооти, чувствительности и информативности электроориентационных измерений с применением двухлучевого турбидиметрического метода регистрации позволят проводить исследования при низких концентрациях клеток в суспензии и при меньшем эффективном напряжении на электродах ячейки.

Следует отметить, что при исследовании электроориентации и диалектрофореза клеток иопользуются среды с достаточно низкой электропроводностью (менее 0,I См·м$^{-I}$). Дело в том, что при малой электропроводности не только уменьшается выделение джоулева тепла и влияние поляризации электродов, факторов вызывающих нежелательное конвекционное движение жидкости в объеме измерительной ячейки, но и обеспечивается достижение большей электрической поляризуемости клеток, так как значительная ее часть имеет межфазную природу и уменьшается с ростом электропроводности.

Таким образом,на основании приведенных выше данных по исследованию электрофоретической подвижности, диалектрической проницаемости, удельной электропроводности и электрической поляризуемости клеток крови с применением различных методов измерения можно сделать вывод о том, что исследование электрических характеристик клеток представляет большой общебиологический и практический интерес для изучения общих закономерностей функционирования организма, диагностики заболеваний, эффективности медикаментозного лечения. Исследование электрокинетических свойств клеток крови находит в настоящее время широкое применение при изучении нормальных и патологических изменений в организме. В последние годы интенсивно развиваются новые подходы к изучению и интерпретации результатов электрофизических измерений на основе диалектрических и оптических методов. Первые результаты по их практическому применению для медицинских целей свидетельствуют о большой перспективности этих методов для изучения структуры и физиологического состояния клеток.

Литература

I. Свенсон К., Уэбстер П. Клетка. М.: Мир, I980. 303 с.

2. Зингбуш П. Молекулярная и клеточная биология. М.: Мир, I982, т. 2. 438 с.

3. Харамоненко С.С., Ракитянская А.А. Электрофорез клеток крови в норме и патологии. Минск: Беларусь, I974. I44 с.

4. Мирошников А.И., Фомченков В.М., Габуев И.С., Чеканов В.А. Разделение клеточных суспензий. М.: Наука, I977. I68 с.

5. Methods of cell separation. Ed. Catsimpoolas N., Plenum Press, vol. 1, 1977, p. 376; vol. 2, 1979, p. 316; vol. 3, 1980, p. 203.
6. Мирошников А.И., Фомченков В.М., Иванов А.Ю. Метод и аппаратура электрофореза в свободном потоке. - В кн.: Методы фракционирования ядерных клеток крови и костного мозга. М.: Труды нститута гематологии и переливания крови, 1980, с. 34-63.
7. Uzgiris E.E. Laser Doppler methods in electrophoresis. - Progr. Surface Sci., 1981, v. 10, p. 52-164.
8. Иванов А.Ю., Габуев И.С., Мирошников А.И., Чеканов В.А. Уотановка для измерения электрофоретической подвижности клеток. - Проблемы гематологии и переливания крови, 1979, № 3, с. 52-55.
9. Shimizu M., Jwaguchi T., Kikutani N., Motomiya T., Yamazaki H. A new automatic methods for measuring cell electrophoretic mobility. - Proc. Japan Acad. 1979, v. 55B, p. 418-423.
10. Шеше Г., Шютт В., Унгер Р. Результаты испытаний автоматизированного микроскопа для электрофореза частиц "Пармоквант". - Йенское обозрение, 1978, № 5/6, с. 232-235.
11. Темнов А.В., Мирошников А.И., Тищенко В.В. Влияние антикоагулянтов на электрокинетические характеристики клеток. - Проблемы гематологии и переливания крови, 1982, № 1, с. 29-34.
12. Streif F., Stoltz J.F., Vigneron C. Rev. Faraday Soc., 1971, v. 14, p. 335-339.
13. Larcan A., Stoltz J.F. Biorheology, 1973, v. 10, p. 189-205.
14. Valet G., Bamberger S., Hofman H. Flay cytometry as a new method for the measurement of electrophoretic mobility of erythrocytes using membrane charge staining by fluoresceinated polycation. - J.Histochem. and Cytochem., 1979, v. 27, p. 342-349.
15. Морозова Г.И., Добрецов Г.Е. Регистрация изменения поверхн стного заряда эритроцитов и модельных мембран с помощью флуоресцентного зонда. - Биофизика, 1982, т. 26, вып. 2, с. 329-330.
16. Clark L.J., Chen L.S., Poward D.R., Baker R.F. Negative charge distribution and density on the surface of oxygenated normal and sickle red cells. - Blood, 1981, v. 57, p. 675-678.
17. Rembaum A., Dreyer W.J. Immunomicrospheres: reagents for cell labeling and separation. - Soience, 1980, v. 208, p. 364-368.
18. Paul F., Roath S., Melvill D. Differential blood separation using a high gradient magnetic field. - Brit.J.Hematol., 1978, v. 38, p. 273-280.
19. Плявинь Ю.А., Блум Э.Я., Яворковский Л.И., Медина И.Ф., Озоль Р.Я. Магнитные свойства и магнитная седиментация лимфоцитов. - В кн.: Лейкозология. Рига: Зинатне, 1979, с. 50-54.
20. Чижевский А.Л. Электричеокие и магнитные свойства эритроцитов. Киев: Наукова думка, 1975. 93 с.
21. Sherbet G.V. The biophysical characterization of the cell surface. Academic Press, 1978. 287 p.

22. Козинец Г.И., Шишков В.П., Борзова Л.В., Макаров А.А., Агранеико Л.В. Клеточный электрофорез - его теоретическое и практическое значение. - Проблемы гематологии и переливания крови, 1979, т. 24, № 2, с. 40-44.
23. Трешинский А.И., Мищук И.И. Электрические свойства крови. - Анестезиология и реаниматология, 1981, № 4, с. 17-21.
24. Левтов В.А., Регирер С.А., Шадрина Н.Х. Реология крови. М.: Медицина, 1982. 270 с.
25. Йенсен Г.Л. К вопроосу об ссновах и значении измерения ЭФП в диагностике злокачественных опухолей. - Йенское обозрение, 1978, № 5/6, с. 236-240.
26. Larcan A., Stoltz G.F., Voiry A.M. Problemes de Reanimation. - SPEJ, Paris, 1971, v. 1, p. 911-918.
27. Губанов Н.И., Утепбергенсв А.А. Медицинская биофизика. М.: Медицина, 1978. 335 с.
28. Крылов А.А. Клинико-экспериментальные материалы... -Патологичеокая физиология и экспериментальная терапия, 1962, № 2, с.46,- 50.
29. Nordth F.J., Knox R.J., Seamen G.V.F. Red cell aging. 2. Anomalous electrophoretic properties of neuraminidase treated human erythrocytes. - J.Cell.Physiol., 1978, v. 97, p. 209-220.
30. Козинец Г.И., Борзова Л.В., Ковнер В.Я., Быкова И.А., Кульман Р.А., Михайлова Е.А., Трубина Н.С. Препаративное разделение эритроцитов крови больных пароксизмальной ночной гемоглобинурией и гипопластической анемией. - Лаб. дело, 1981, № 10, с. 595-598.
31. Шван Г. Электроскопия биологических веществ в поле переменного тока. - В кн.: Электроника и кибернетика в биологии и медицине. М.: Изд-во иностр. лит., 1963, с. 71- 108.
32. Carstensen E.L., Marquis R.E. Dielectric and electrochemical properties of bacterial cells. - Spores, 1975, v. 6, p. 563-571.
33. Эпштейн С.Л. Измерение характеристик конденсаторов. М.: Энергия, 1965. 236 с.
34. Гриневич Ф.Б., Грохольский А.А., Соболевский К.Н., Цаценко М.П. Трансформаторные измерительные мосты. М.: Энергия, 1970. 150 с.
35. Александров Ю.А., Барабанов Н.Н., Селиветстова В.М. Уотановка для измсрения диалектрической проницаемости оред с большой электропроводностью. - Заводская лаборатория, 1974, № 3, с. 279-280.
36. Михайленко А.А. Повышение точнооти измерений резонаноным методом диалектрической проницаемости веществ обладающих большой проводимостью. - Измерительная техника, 1974, № 8, с. 50-53.
37. Полянский А.С., Машников Л.Б., Гальперин Л.Н. Автоматический диалектрический спектрометр. - Приборы и техника экоперимента, 1976, № 1, с. 130-135.
38. Бондаренко Н.П. Измерительные ячейки для исследования электрических свойств жидких диалектриков. - Тр. Ленингр. политехн. ин-та им. М.И.Калинина, 1966, № 276, с. 70-77.

39. Челидзе Т.Л., Деревянко А.И., Куриленко О.Д. Электрическая спектроскопия гетерогенных систем. Киев: Наукова думка, 1977. 230 с.
40. Седунов Б.И., Фрак-Каменецкий Д.А. Диэлектрическая проницаемость биологических объектов. – Успехи физических наук, 1963, № 4, с. 617-639.
41. Андреев В.С. Кондуктометрические методы и приборы в биологии и медицине. М.: Медицина, 1973. 335 с.
42. Asami K., Hanai T., Koizumi N. Dielectric analysis of E.coli suspensions in the light of the theory of interfacial polarizability. – Biophys.J., 1980, v. 31, p. 215-228.
43. Челидзе Т.Л., Кикнадзе В.Д., Кевлишвили Г.Е., Чхаидзе В.Т. Диэлектрическая спектроскопия крови. I. Диалектрические спектры нормальной крови человека. – Биофизика, 1973, т. 18, с. 932-935. 2. К расчету емкости мембран эритроцитов человека по диалектрическим спектрам крови. Там же, с. 868-872.
44. Челидзе Т.Л. Диалектрическая спектроскопия крови. 3. Диалектрические спектры эритроцитов в интервале 15-75°С и замечания о температурном оптимуме гомеостаза. – Биофизика, 1974, т. 19, с. 96-99.
45. Челидзе Т.Л., Кикнадзе В.Д., Кевлишвили Г.Е. Диалектрическая спектроскопия крови. 4. Диалектрические спектры крови при физико-химических воздействиях. – Биофизика, 1974, т. 19, с. 479-483. 5. О механизме диалектрической поляризуемости крови в области бета-дисперсии. Там же, с. 859-862.
46. Челидзе Т.Л. К механизму альфа-дисперсии диалектрической проницаемооти крови. – Биофизика, 1974, т. 19, с. 1100-1101.
47. Челидзе Т.Л., Кикнадзе В.Д., Кевлишвили Г.Е., Яковлев И.Л., Кикнадзе Т.А. Электропроводность цитоплазмы эритроцитов. – Биофизика, 1980, т. 25, с. 1023-1026.
48. Яковлев И.Л., Челидзе Т.Л., Кикнадзе В.Д., Кевлишвили Г.К., Макалатия Ц.С. Электрические свойотва крови при пернициозной анемии и полицитемии. – В кн.: Материалы 27 научной сессии Грузинского НИИ гематологии и переливания крови. Тбилиси, 1975, с. 405-407.
49. Стоилов С., Шилов В.Н., Духин С.С., Сокеров С., Петканчин В. Электрооптика коллоидов. Киев: Наукова думка, 1977. 200 с.
50. Stoylov S.P. Colloid electrooptics: electrically induced optical phenomena in disperse systems. – Adv.Coll.Interf.Sci., 1971, v. 3, p. 45-110.
51. Jennings B.R., Morris V.J. Light scattering by bacteria. 2. Size and electrical properties of E.coli. – J.Coll.Int.Sci., 1974, v. 49, p. 89-97.
52. Yoshioka K., Watanabe H. Dielectric properties of proteins. 2. Electric birefringence and dichroism. – Physical Principles and Techniques of Protein Chemistry. New York: Acad. Press, 1969, 367 p.
53. Wippler C. Diffusion de la lumiere des solutions macromoleculaires. – J.Chim.Phys., 1956, v. 53, p. 328-345.

54.Овчаренко Ф.Д., Маляренко В.В., Шилов В.Н. Исследование электропроводности и электроориентации коллоидных частиц. - Коллоидн. ж., 1977, т. 39, с. 73-79.
55.Фомченков В.М., Денесик А.И. Теоретическая модель высокочастотной релаксации электроориентации бактериальных клеток. - Электронная обработка материалов, 1980, № 2, с. 65-70.
56.Фомченков В.М., Мазанов А.Л., Брезгунов В.Н. Влияние дисперсии электрических параметров клеток на их ориентацию в переменном электрическом поле. - Биофизика, 1982, № 4, с. 665-669.
57.Pohl H.A. Dielectrophoresis: The behavior of neutral matter in nonuniform electric fields. London: Cambr. Univers. Press, 1978. 579 p.
58.Фомченков В.М., Мирошников А.И., Иванов А.Ю., Кувшинникова В.В. Диалектрическое поведение клеточных суспензий. - Электронная обработка материалов, 1975, № 2, с. 60-65.
59.Фомченков В.М., Мирошников А.И. Ячейки для исследования электроориентации и диалектрофореза клеток. - Электронная обработка материалов, 1979, № 4, с. 91-93.
60.Schmidt K.P., Glaser B., Pescheck C., Krause G. Die kettenbildung skinetik als messparameter fur die dielektrophorese von zellen. - Studia biophysica, 1979, v. 75, p. 81-91.
61.Friend A.W., Finck D., Schwan H.P. Low frequency electric field induced in the shape and motility of amoebas. - Science, 1975, v. 187, 357-9.
62.Zimmermann U., Schewrich P., Pilwat G., Banz R. Zellen mit manipulierten funktionen neuen perspektiven fur zellbiologie. - Angev. Chem., 1981, v. 93, p. 332-351.

5. Электрические свойства клетки как индикатор патологического состояния организма

Известно, что количественное и качественное изменения в системе белков, полисахаридов плазмы крови оказывают влияние на электрический заряд клеток при различных заболеваниях /1/. В частности, с использованием метода электрофореза /1/ и метода выявления ореолообразующих клеток (ООК) /2/ открываются новые широкие возможности для быстрого в течение нескольких секунд, обнаружения опухолевых клеток в кровеносном русле, а также для определения ранней иммунологической перестройки в организме /3/ по числу ООК в периферической крови. Ореол - пространство, свободное от различных фоновых частиц, в центре которого находится ООК (рис. 52а), а на расстоянии до 100 мкм в радиусе располагаются фоновые частицы (эритроциты, дрожжевые клетки, частицы туши). Способ обнаружения ООК основан на изменении электрических свойств поверхности плазматической мембраны. Предполагается, что ореолы образуются следующим образом. Живая клетка имеет на своей поверхности электрический за-

ряд. При добавлении в среду инкубации (физиологический раствор или плазму крови) больших концентраций анионов и катионов, часть свободной воды выходит из клетки, а ионы входят в нее по законам диффузии. В результате создается градиент концентрации около клетки. Согласно теории диффузиофореза [4] заданный извне градиент концентрации электролита влечет за собой поляризацию двойного электрического слоя (ДС) на поверхности клетки. Возникает диффузиофорез, т.е. движение взвешенных частиц под влиянием заданного градиента концентрации раствора. Диффузиофорез - явление, симметричное электрофорезу, вызывается градиентом электрического потенциала на поверхности коллоидной частицы или клетки индуцированного градиентом его концентрации ионов во всем объеме раствора. Диффузиофорез клеток обусловливается поляризацией ДС на наружной стороне клеточной мембраны под влиянием градиента концентрации ионов. Задаваемый извне градиент концентрации обусловливает перепад концентрации ионов в объеме. А поскольку между ДС и объемом раствора, прилежащем к внешней границе ДС, сохраняется равновесие, ДС перестраивается соответственно заданному распределению концентрации ионов вдоль его внешней границы. В поляризованном подобным образом ДС возникает, во-первых, перепад давления вдоль поверхности частицы, вызванный воздействием ее радиально-симметричного поля на заряд диффузной части ДС, изменяющегося вдоль поверхности частицы, и, во-вторых, тангенциальная составляющая электрического поля. Оба этих фактора, действующие и при электрофорезе, вовлекают ДС, а следовательно, и частицу в движение. Таким образом происходит отталкивание эритроцитов от центральной ООК.

Поляризация ДС на поверхности клетки зависит от электрических свойств биомолекул мембраны. Система, в которой происходит формирование ореола, является электрически активной и состоящей из клеток, которые несут поверхностный отрицательный заряд. ООК, имея повышенный электрический заряд, остается в центре, а остальные фоновые клетки располагаются по эквипотенциальным линиям. В эксперименте вопрос о взаимодействии заряженных клеток (ООК и фоновых) сложнее, так как нужно учитывать и взаимодействие эритроцитов друг с другом, и взаимодействие ООК с остальными клетками и влияние плотности клеточной суспензии, электрическое состояние гликокаликса (внешнего примембранного слоя) и межклеточной среды, в которой находятся электролит и органические вещества. Фоновые клетки могут удаляться диффузиофоретической силой от центральной ООК на расстояния более 100 мкм и удерживаться там в течение 5-6 дней, пока процесс разрушения эритроцитов не уменьшит концентрацию клеток и не разрушит тем самым структуру ореола.

Ореолы, образованные вокруг некоторых клеток, исследовались при помощи интерференционного микроскопа. В среде, состоящей из частиц туши и эритроцитов, ореол вокруг клетки представляет собой коллоидное образование, которое не пропускает к поверхности клетки частицы туши. При механической деформации (надавливание на стекло, под которым находятся

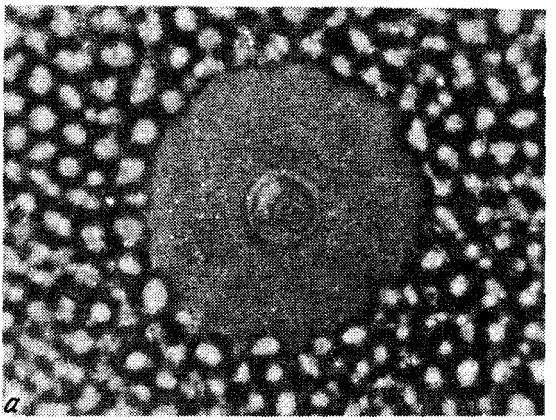


Рис. 52а. Ореол вокруг нормальной клетки крови

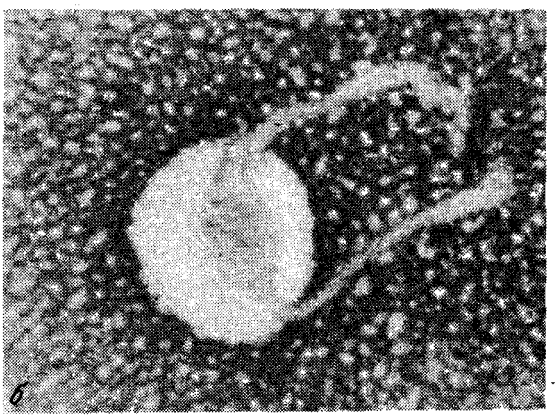


Рис. 52б. Ореол вокруг опухолевой клетки

ООК) в ореоле образуются складки, что видно по изменению коэффициента преломления. Частицы туши, находящиеся в броуновском движении, ударяются о границу ореола, не прилипая к нему. При механическом разрушении суспензии частицы туши, как и клетки, свободно огибают ореол, ограниченный частицами туши. Коллоидное состояние вещества может обратимо исчезать после устранения электролита. Во внешнем ЭП коллоид отстает от движущейся клетки, что подтверждает его электронейтральность. Наличие электрических сил при формировании ореолов вокруг некоторых клеток подтверждается тем, что в концентрированном растворе электролита клетки имеют на своей поверхности отрицательный электрический заряд, который у ООК в два раза выше, чем у клеток без ореола. Величина электрического заряда зависит от вида аниона, состояния клетки, от наличия набухшего гликокаликса (внешнего примембранного слоя клетки).

Для более тонкого понимания механизма образования ореолов необходи-

мо исследовать электрические свойства набухшего гликокаликса, поверх - ностей фоновых клеток и ООК, а также электрические свойства той среды, в которой эта система находится.

Рассмотренный механизм образования ореолов определяется электрическими свойствами поверхности ООК. В свою очередь нахождение ореолообразующих опухолевых клеток (рис. 52б) в крови свидетельствует о наличии опухолевого процесса в организме. Следует отметить, однако, что не все опухолевые клетки образуют ореолы. Число ореолообразующих опухолевых клеток, например в летальной стадии у крыс может доходить до 90% по отношению к общему числу опухолевых клеток (исследовалась саркома, индуцированная канцерогенным веществом - диметилбензантраценом). Ореолы вокруг опухолевых клеток распределены неравномерно, что возможно свя - зано с процессом метастазирования.

Определение числа ООК в крови может характеризовать раннюю иммуно - логическую перестройку в больном организме /3/. Очевидно, в данном случае при контакте (механической или электрической природы) антигена с лейкоцитом электрические свойства молекул гликокаликса изменяются, в результате чего увеличивается электрический заряд и клетка обретает свойство формировать ореол. Это, в свою очередь, может свидетельство - вать о начале иммунологической перестройки в организме.

Таким образом, изменение электрических свойств клетки может быть использовано как индикатор патологического состояния организма в клинической практике.

Литература

I. Харамоненко С.С., Ракитянская А.А. Электрофорез клеток крови в норме и патологии. Минск: Беларусь, 1974. 144 с.

2. Голованов М.В., Дерягин Б.В. О силах отталкивания, исходящих от некоторых биологических клеток, помещенных в концентрированный раствор электролита. - Коллоид. журн., 1979, т. 41, № 4, с. 649-653.

3. Голованов М.В., Терещенко И.П. Динамика образования ореолобразующих клеток при некоторых патологических процессах. - Журн. микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии, 1981, № 2, с. 87-89.

4. Духин С.С., Дерягин Б.В. Электрофорез, М.; Наука, 1976, с. 328.

6. Скорость оседания эритроцитов в инфранизкочастотном магнитном поле как тест для определения сосудистой патологии

Для решения задач профилактики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний значительный интерес представляет изучение вопросов, связанных с реакцией системы крови на геомагнитное возмущение. Согласно данным медицинской статистики /I/, магнитные бури вызывают изменения показателей системы гемокоагуляции и создают предпосылки для тромботических и геморрагических осложнений при сердечно-сосудистых заболеваниях. Эти

выводы были подтверждены в опытах на животных, подвергавшихся воздействию искусственных МП малой напряженности в ИНЧ диапазоне /2/.

Метод моделирования геомагнитных возмущений является не только перспективным способом изучения физиологических механизмов действия этого фактора / 3/, но и позволяет использовать МП как тонкий инструмент исследования электромагнитных свойств крови, в частности при инфаркте миокарда. Последнее обстоятельство дало возможность получить принципиально новые факты о чувствительности крови этой категории больных к действию МП ИНЧ и приблизиться к пониманию природы воздействия.

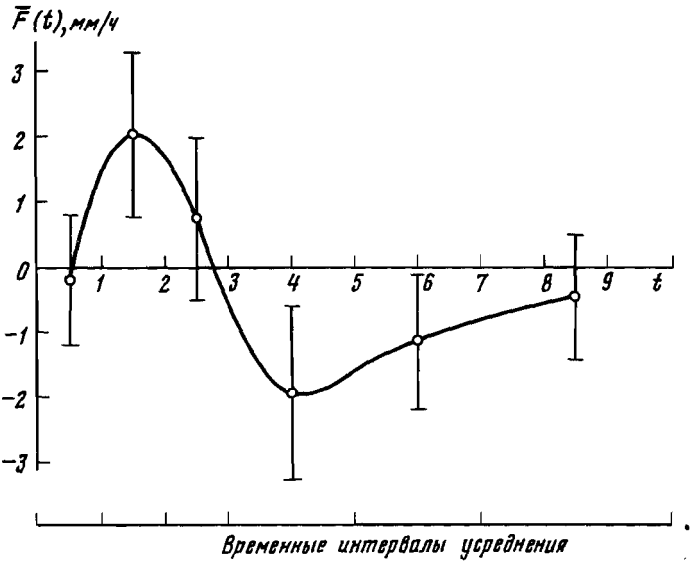
В качестве теста была использована широко применяемая в клинике характеристика состояния крови – скорость оседания эритроцитов (СОЭ), измеряемая общепринятым способом /4/. Исходная порция цитратной крови набиралась в два одинаковых капилляра, один из которых служил контролем и находился вне зоны действия МП, другой, при прочих равных условиях, – в однородном МП 30 мкТл, частотой 0,5 Гц, вектор которго был коллинеарен горизонтальной составляющей ГМП и перпендикулярен вектору силы тяжести. Различие в величинах СОЭ в опытном капилляре по сравнению с контрольным являлось мерой эффекта изменений крови под влиянием поля, т.е. служило простейшей индикацией реакции электромагнитных свойств крови на МП ИНЧ, поскольку при действии столь слабого по энергии МП роль механических сил можно исключить /5/.

Для повышения точности наблюдений капилляры тщательно идентифицировались, вводилиось соответствующие поправки на начальный уровень крови в капилляре и на время установки капилляров в штативы, отрабатывались навыки перемешивания крови /6/. Эти меры обеспечивали снижение абсолютной погрешности наблюдений до величины менее 0,5 мм/ч.

В число обследованных лиц входило 253 больных с неосложненным течением мелкоочагового инфаркта миокарда в разных стадиях болезни и 27 доноров. Часть больных обследовалась неоднократно как в острой стадии болезни, так и по мере выздоровления, в стадии ремиссии.

Результаты опытов показали, что реакция СОЭ на действие поля не одинакова у здоровых и больных лицей и существенно зависит от стадии болезни. СОЭ доноров в условиях опыта практически не изменялась: из 27 образцов крови только для 4 отмечалось незначительное, по сравнению с контролем, увеличение скорости. Изменение скорости седиментации крови у больных под влиянием МП ИНЧ было достоверно почти в 80% случаев, при этом знак и величина эффекта значительно варьировали – как у разных лиц, так и у одного лица по ходу течения болезни.

В одних опытных пробах наблюдалось достоверное ускорение процесса оседания, в других – замедление по сравнению с контрольным значением скорооти, причем абсолютная величина эффекта, независимо от знака изменения СОЭ в поле, для некоторых проб была значительной и достигала величины порядка 20 мм/ч /6/. Анализ полученных данных и сопоставление их со сроками от начала инфаркта миокарда для каждого конкретного боль-



Р и с. 53. Динамика изменения СОЭ при действии поля на кровь у больных с инфарктом миокарда на разных стадиях болезни в условиях in vitro

По оси абсцисс - недели ст начала заболевания и временные интервалы усреднения; по оси ординат - средние значения и доверительный интервал эффекта изменения СОЭ

ного показали, что в типичных случаях течения неосложненного мелкоочагового инфаркта миокарда характерно закономерное изменение знака и величины реакции СОЭ на МП на протяжении болезни.

В первые часы после поступления в клинику у большинотва больных отмечалось незначительное изменение СОЭ в МП при абсолютных значениях этого параметра порядка 10-20 мм/ч. По мере увеличения СОЭ до значения 30-40 мм/ч в течение первых 10 дней скорость оседания в МП достоверно увеличивалась. К концу третьей недели наблюдалось постепенное уменьшение этого эффекта, а к концу четвертой - знак изменения скорости СОЭ менялся на противоположный: седиментация крови в поле была достоверно замедлена по сравнению с контролем. Затем, по мере выздоровления, эффект уменьшался при сохранении знака. На седьмой-девятой неделе от начала заболевания СОЭ, как правило, не изменялось под дейотвием поля.

Статиотическая обработка данных для всего контингента больных с благоприятным исходом инфаркта миокарда подтвердила тенденцию изменения знака эффекта по стадиям болезни, описанную выше. Несмотря на большой разброс данных, который является закономерным следствием индивидуальных особенностей изменения свойств крови по ходу течения болезни у разных лиц, было показано (рис. 53), что эффект роста СОЭ в острой

стадии болезни достоверно отличается от эффекта замедления в стадии ремиссии. Подтвердился и тот факт, что СОЭ у выздоравливающих больных не чувствительна к МП ИНЧ, как и кровь доноров.

Показано, что корреляция наблюдаемого эффекта и значения СОЭ в контроле для всего цикла наблюдений отсутствуют. Это дает основание считать чувствительность СОЭ к действию МП ИНЧ относительно самостоятельной характеристикой состояния крови, что может иметь диагностическое значение. По нашим наблюдениям, фазный регуляторный характер изменения реакции СОЭ на МП - признак благоприятного течения и исхода болезни, что,по-видимому, может свидетельствовать об активном участии компенсаторных механизмов. При осложненных инфарктах миокарда, обследованных в специальной серии наблюдений (86 больных), динамика эффекта была иной и определялась либо устойчивостью первой фазы, т.е. ускорением у одних лиц, либо частой оменой фаз при малой амплитуде колебаний у других

Самостоятельный интерес представляет анализ самочувствия больных в моменты сильных геомагнитных возмущений, воздействовавших на организм в целом. Оказалось, что ухудшение состояния в эти периоды было наиболее четко выражено у больных в первую и третью недели от начала заболевания, т.е., по-видимому, в момент интенсивной перестройки работы регуляторных механизмов (см. рис. 53). Для больных, находившихся в других стадиях болезни, была характерна генерализация и усиление эффектов: градиенты изменения СОЭ, наблюдавшиеся в течение второй недели и в период ремиссии (4-8 недель), увеличивались, а разброс данных внутри групп существенно уменьшался.

Следует подчеркнуть, что чувствительность крови к действию поля на целостный организм существенно выше, чем в условиях in vitro. Это доказывает сопоставление результатов статистических исследований реакции СОЭ на геомагнитные возмущения у доноров и в опытах in vitro. Как отмечалось выше, СОЭ у доноров in vitro не изменяется под действием ИНЧ, тогда как воздействие на организм геомагнитной бури вызывает достоверные регуляторные изменения СОЭ на протяжении нескольких недель /7/. Эту закономерность подтвердили прямые опыты на здоровых животных, у которых наблюдалась аналогичная картина реакции СОЭ на МП in vitro и после экспозиции животных в МП ИНЧ /8/. Необходимо,однако,заметить, что СОЭ является относительно грубым тестом и поэтому отсутствие реакции СОЭ на слабые магнитные поля не может быть доотаточным для заключения о том, что кровь не реагирует на действие данного фактора. Оказалось, что при использовании более тонких биохимических методов исследования можно обнаружить достоверные изменения структуры сывороточных белков и мембраны эритроцитов крови здоровых животных в условиях in vitro /9/, хотя СОЭ при этом не претерпевала заметных изменений. Это обстоятельство свидетельствует также и о том, что механизм влияния МП ИНЧ на кровь очень сложен и связан с сдновременным воздействием поля как на бесклеточные структуры, так и на форменные элементы крови.

В целом полученные данные овидетельствуют о высокой биологической активности слабых МП ИНЧ диапазона и являются доказательством относительно более высокой чувствительности крови больных с инфарктом миокарда по сравнению со здоровыми людьми.

Результат исследования следует учитывать в профилактике и лечении инфаркта миокарда, используя их как вспомогательный диагностический тест и для изучения электромагнитных свойств крови и их физиологической роли, что, по-видимому, особенно важно в условиях патологических изменений в организме.

Литература

1. Рождественская Е.Д. Влияние гелиографических факторов на состояние гемокоагуляции и их значение в этиопатогенезе и прогнозировании тромботических и геморрагических осложнений при сердечно-сосудистых заболеваниях: Автореф. дис.... д-ра мед. наук. Свердловск: Мед. ин-т, 1973. 30 с.
2. Музалевская Н.И., Ларкина Т.А. Изменение состояния свертывающей и антисвертывающей систем крови у белых крыс при воздействии слабого переменного магнитного поля инфранизкого диапазона частот в опытах in vivo. - В кн.: Магнитное поле в медицине; Науч. тр. Киргиз. гос. мед. ин-та. Фрунзе, 1974, т. 100, с. 90.
3. Музалевская Н.И. Физиологические проявления действия магнитного поля малой напряженности в диапазоне сверхнизких частот: Автореф. дис.... канд. биологических наук. Л.: ЛГУ, 1978.
4. Бурчинский Г.И. Реакция оседания эритроцитов. Киев, 1962. 206 с.
5. Музалевская Н.И., Классен В.И. О характеристиках магнитного поля, определяющих изменение свойств некоторых водных систем. - Доклады АН СССР, 1976, т. 227, № 2, с. 391-393.
6. Музалевская Н.И., Шушков Г.Д. О влиянии слабого однородного магнитного поля инфранизкой частоты типа геомагнитного на реакцию оседания эритроцитов in vitro у больных с инфарктом миокарда. - В кн.: Реакция биологических систем на слабые магнитные поля. М.: Наука, 1971, с. 143-147.
7. Музалевская Н.И., Стражникова Н.П. Изменение реакции оседания эритроцитов у доноров при усилении солнечной активности в августе 1972 г. - Солнечные данные. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1973, № 8, с. 85-88.
8. Ахутин В.М., Музалевская Н.И. Влияние слабого ПеМП инфранизкого диапазона частот на РОЭ в опытах in vivo и in vitro. - В кн.: Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Белгород, 1973, с. 57-58.
9. Павлова Р.Н., Музалевская Н.И., Соколовский В.В. Некоторые биохимические аспекты действия слабых низкочастотных магнитных полей. - В кн.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, с. 47-58.

7. Влияние низкочастотного магнитного поля на репаративную регенерацию кости

Проблема восстановительных процессов ксоти при ее повреждении - одна из основных в современной травматологии и ортопедии. Изыскание средств регуляции репаративной регенерации кости с целью ее ускорения и сокращения сроков заживления является актуальной задачей теоретической и практической медицины.

В комплексном лечении переломов для ускорения их заживления используются различные физические факторы: ЭП УВЧ, электрофорез кальция и фосфора, индуктотермия и др. Нс в ряде случаев их применение ограничивается различного рода противопоказаниями. Поэтому актуально исследование действия новых физичеоких факторов, способных влиять на процесс заживления поврежденной кости. В последнее время все большее раопроотранение получает магнитотерапия. В литературе имеются сообщения о благоприятном действии постоянных МП различной напряженности на процесс заживления переломов /I-I2/. Влияние переменных МП на процессы репаративной регенерации изучено в меньшей степени. Имеются отдельные сообщения, касающиеся этого вопроса /I3-I8/.

Изучалось влияние низкочастотного магнитного поля с частотой 50 Гц и I0 мТл на процессы репаративной регенерации кости в эксперименталь-ных и клиничеоких условиях. Эксперимент проведен на I60 кроликах породы Шиншила, из них 75 животных ссставили контрольную группу. Для ооздания сдинаковых условий на лучевой кости кролика наносилоя стандартный дефект путем выпиливания участка диафиза шириной 4 мм. Оценка эффективнооти процесоа заживления осуществлялаоь клиническими тестами: наличие и выраженность отека, время его исчезновения, время заживления кожной раны; морфологическими методами: гистологическое исследсвание в сроки 5, 7, I4, 2I, 30 и 75 дней после операции, электронная микроскопия на 5-, 7- и I4-й день, телевизионная планиметрия (измерение суммарной площади фибро- и остеобластов в регенерате лучевой кости) через 5 и 7 дней после операции, которая позволила объективно определить степень пролиферативных процессов клеток; радиологичеокими методами: радиометрия и ауторадиография о остеотропным радионуклеотидом стронцием-85, которые дали возможность проследить динамику воостановления кровообращения и процессов минерализации регенерата, и рентгенологическим методом (рентгенография). Радиометрия проводилась на 7-й день после операции.

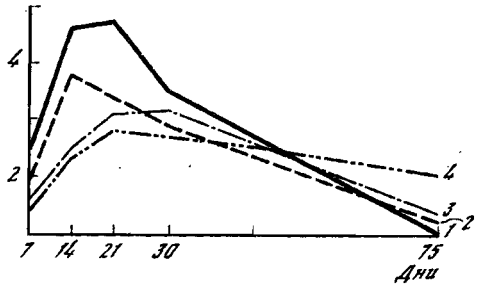
Отмечено, чтс под действием низкочастотного МП процесо заживления поврежденной кости протекал более благоприятно: отек на конечности отсутствовал или был выражен незначительно, быстрее заживала кожная рана, поэтому швы у животных опытной группы можно было снимать на 3 дня раньше, быстрее исчезала инфильтрация кожи. При гистологическом и электронно-микроокопическом исследовании уже через 5 дней после операции в регенерате лучевой кости обнаруживалиоь зрелые дифференцированные

фибробласты. В контрольной группе они отсутствовали. Через 7 дней число клеточных элементов в опытной группе нарастало, появлялись остеобласты и образовывался неоссифицированный остеоид, в то время как в контрольной группе в регенерате имелись лишь немногочисленные малодифференцированные фибробласты. Суммарная площадь фибро- и остеобластов через 5 дней после операции составила в опытной группе $93,4\pm6,7$ усл. ед. ($P < 0,001$), а в контрольной - всего $1,6\pm0,04$ ($P < 0,001$). Через 7 дней суммарная площадь клеточных элементов у торцовых поверхностей опилов кости в опытной группе составляла $121,4\pm8,9$ усл. ед. ($P < 0,001$); в контрольной группе $8,7\pm0,37$ ($P < 0,001$). Эти данные свидетельствуют о существенно измененных условиях регенерации под влиянием низкочастотного МП. Через 14 дней в опытной группе уже определяется новообразованная костная ткань в виде густой сети костных балок. При электронно-микроскопическом исследовании отмечены процессы оссификации коллагеновых фибрилл, появление остеоцитов и остеокластов, что означает начало процесса переотройки костной ткани. Указанные изменения обусловлены интенсивным нарастанием процесса остогенеза. В контрольной группе в этот срок определяется только клеточноволокнистая ткань.

Данные морфологического и радиологического исследований согласуются. Репаративные процессы у животных опытной группы протекают на более высоком энергетическом уровне, быстрее развиваются и завершаются. Процессы минерализации достигают максимального значения через 14 дней после операции (рис. 54), кровоток - через 21 день. После достижения максимальных значений метаболические процессы и процесс восстановления кровообращения переходят в завершающую фазу. В контрольной группе интенсивность притока крови в область регенерата меньше, метаболические процессы слабее и максимум наступает только через 30 дней после операции. По данным рентгенологического исследования процессы консолидации в опытной группе начинаются раньше, чем в контрольной: через 14 дней в опытной группе видны признаки консолидации; в контрольной группе они отсутствуют.

На 75-й день у животных опытной группы при морфологическом исследовании отмечается восстановление целостности кости с образованием костной ткани нормального строения. Радиологические данные также свидетельствуют о завершении процессов заживления: полностью нормализуется кровообращение и завершаются перестроечные процессы в фазе минерализации. Рентгенологически анатомическая форма кости полностью восстанавливается.

В контрольной группе в области перелома при морфологическом исследовании имеется не вполне зрелая костная ткань и еще сохраняется хрящевая ткань. Радиологическое исследование указывает на незавершенность процессов как в сосудистой фазе, так и в фазе минерализации. На рентгенограммах межотломковый дефект заполнен перемычкой неоднородной плотности. Костномозговой канал отсутствует. Процесс консолидации не закончен.



Р и с. 54. Заживление поврежденной лучевой кости кролика по данным радиометрии в динамике

I – сосудистая фаза, 2 – фаза минерализации у животных, получавших воздействие низкочастотного МП, 3 – сосудистая фаза, 4 – фаза минерализации у контрольной группы животных. Интенсивность процессов значительно ниже к 75-му дню после операции, нормализации еще нет

В клинике проведено наблюдение по применению низкочастотного МП в комплексном лечении 30 больных с переломами диотального эпиметафиза лучевой кости. Контрольная группа, не получившая лечение МП, составила 24 человека. После сопоставления отломков лучевой кости и наложения гипсовой лонгетной повязки больным через I–2 дня после перелома проводилась магнитотерапия по 20 мин 6 раз в неделю. Курс лечения составлял I5 процедур. Объективизация процесса заживления осуществлялась клиническими тестами: наличие и выраженность болей, отека, время их исчезновения, восстановление амплитуды активных движений в суставах пальцев и кистевом суставе; а также радиологическими методами и рентгенологически.

При клиническом течении заболевания было отмечено, что у больных, получавших воздействие низкочастотным МП, в 2 раза быстрее исчезали боли, отек, быстрее восстанавливалась амплитуда активных движений в суставах пальцев и кистевом суставе. При рентгенологическом исследовании отмечалась более совершенная консолидация перелома с восстановлением нормальной структуры кости в области перелома через 7 недель после травмы. В контрольной группе через 7 недель по линии перелома еще имелась зона уплотнения и структура кости не восстанавливалась. Радиологические исследования показали, что у больных, получавших воздействие низкочастотным МП, через 5 недель после перелома наблюдается более интенсивный кровоток в области перелома и более интенсивные процессы минерализации. К 7 неделям метаболические процесоы и интенсивность притока крови в области травмы кости снижаются. Это свидетельствует о завершении процессов заживления, что подтверждают рентгенограммы. В контрольной группе активность метаболических процесоов, интеноивность притока крови в области перелома через 5 недель после травмы была значи-

тельно ниже. К 7 неделям активность процессов минерализации увеличивалась, что свидетельствовало о незавершенности процеосов заживления. Средняя продолжительность случая временной нетрудоспособности у больных, получавших в комплексе лечения воздействие низкочастотным МП, была на 8-9 дней меньше, чем у больных контрольной группы.

Таким образом, экспериментально-клинические исследования показали, что низкочастотное МП благоприятно действует на различные стороны патологического процесса при повреждении кости. Меняя характер и скорость химических реакций, оно активирует процессы, направленные на построение белка коллагенового типа, увеличивает скорость клеточного деления, ускоряет процесс минерализации органичеокого матрикса кости. Под воздействием МП происходит более быстрое восстановление кровообращения отломков и регенерата, что в свою очередь оозлает более благоприятные уоловия для заживления кости. Данное исследование обооновывает целесообразность и перспективность применения низкочастотного ПМ как физического фактора в комплеконом лечении больных с переломами костей.

Литература

I. Артемов Г.С., Федосюткин Б.Ф., Голяховский В.Ю., Стош Н.В. Влияние локального и непрерывного воздействия ПМП на репаративный остеогенез. - В кн.: Применение магнитных полей в клинике. Куйбышев: КГУ, I976, с. I43-I45.
2. Голяховокий В.Ю., Артемов Г.С., Пирузян М.А., Хуторянский А.А. Стимуляция регенерации коотной ткани под влиянием постоянного магнитного поля (экспериментально-клиническое исследование). - В кн.: Тр. 3-го съезда травматологов-ортопедов. М., I975, ч. 2, о. I80-I82.
3. Голяховский В.Ю., Артемов Г.С., Левдикова С.С., Лукин В.П. Магнитотерапия в комплексе лечения диафизарных переломов трубчатых костей.- В кн.: Применение магнитных полей в клинике. Куйбышев: КГУ, I976, о. 29-3I.
4. Диген И.Л. Лечебное действие магнитных полей при некоторых заболеваниях опорно-двигательного аппарата (клинико-экспериментальное исследование): Дис. ... д-ра мед. наук. М.: I973.
5. Диген И.Л., Стецула В.И. Консолидация отломков костей в постоянном магнитном поле. - Ортопедия, травматология, протезирование, I97I, № 9, с. 45-48.
6. Кучеренко А.Е., Шевчук В.И. Применение магнитотерапии при некоторых заболеваниях и повреждениях опорно-двигательного аппарата. - В кн.: Применение магнитных полей в клинике. Куйбышев: КГУ, I976, с. 53-54.
7. Митбрейт И.М., Дормидонтов Г.В., Игнатов Н.Ф. и др. Низкочастотные переменные и постоянные магнитные поля при лечении больных с заболеваниями и повреждениями органов опоры и движения. - В кн.: Матер. 7 съезда физиотерапевтов и курортологов. М., I977, с. 249-250.
8. Савельев В.Н., Зворыгина Н.Г. Динамика некоторых биохимических показателей крови при лечении больных с несросшимися переломами костей

постоянным электромагнитным полем и оперативным путем. – В кн.: Применение магнитных полей в клинике. Куйбышев: КГУ, 1976, с. 77–79.
9. Савельев В.Н., Иванов В.Г. Постоянное магнитное поле в комплексном лечении осложненных диафизарных переломов костей конечностей. – В кн.: Клиничеокое применение магнитных полей. Ижевск: Удмуртия, 1977, с. 49–51.
10. Стош Н.В., Харлампович С.И., Артемов Г.С., Левдикова С.С. Васкуляризация отломков и формирующегося регенерата при репаративном остеогенезе в условиях ПМП. – В кн.: Применение магнитных полей в клинике. Куйбышев: КГУ, 1976, с. 79–81.
11. Хабирова Г.Ф. Влияние постоянного магнитного поля на репаративный остеогенез при внутрисуставных переломах. – В кн.: Актуальные вопросы лечения переломов длинных трубчатых костей. Л.: 1975, с. 19.
12. Хабирова Г.Ф. Магнитные поля в лечении внутрисуставных повреждений. – В кн.: Клиническое применение магнитных полей. Ижевск: Удмуртия, 1977, с. 62–64.
13. Лаврищева Г.И., Митбрейт И.М., Маняхин В.Д. Морфологическая характеристика репаративной регенерации длинных трубчатых костей под влиянием переменного низкочастотного магнитного поля (экспериментальнсе исследование). – В кн.: Актуальные вопросы травматологии и ортопедии. М.: 1976, вып. 14, с. 72–74.
14. Маняхин В.Д. Репаративная регенерация длинных трубчатых костей при воздействии переменным магнитным полем малой напряженности (экспериментальное исследование). – В кн.: Актуальные вопросы экспериментальной и клинической физиотерапии. М.: 1976, с. 58–59.
15. Маняхин В.Д. Влияние переменного низкочастотного магнитного поля малой напряженности на процесс репаративной регенерации при переломах (экспериментально-клиническое исследование). – В кн.: Клиническое применение магнитных полей. Ижевск: Удмуртия, 1977, с. 58–59.
16. Митбрейт И.М., Аджимолаев Т.А., Дормидонтов Г.В., Зимина Р.В., Игнатов Н.Ф. Низкочастотное магнитное поле в комплексе лечения некоторых повреждений органов опоры и движения. – В кн.: Клиническое применение магнитных полей. Ижевск: Удмуртия, 1977, с. 57–58.
17. Митбрейт И.М., Маняхин В.Д. Заживление переломов длинных трубчатых костей под влиянием низкочаототного магнитного поля (экспериментальное исследование). – В кн.: Методы физиобальнеореабилитации при патологии опорно-двигательного аппарата: Межобл. конф. ортопедов-травматологов. Одесса, 1977, с. 10–11.
18. Яновская Э.М., Маняхин В.Д., Митбрейт И.М. Радиоизотопное исследование процесса консолидации длинных трубчатых костей под действием переменного низкочастотного магнитного поля малой напряженности в эксперименте. – В кн.: Актуальные вопросы травматологии и ортопедии. М., 1977, вып. 15, с. 106–110.

8. Магнитотерапия в офтальмологии.

За последнее время увеличился интерес к использованию МП для лечебных целей в офтальмологии [1-6], как путем воздействия магнитным полем непосредственно на глаз, так и путем введения в глаз омагниченных лекарственных препаратов (см. п. I.I наст. главы). Для создания МП применяются различные типы магнитов (постоянные, переменные и др). Постоянные магниты (самарий-кобальт) состояли из набора колец, с индукцией В от 30 до 100 мТл. Методика их применения заключалась в том, что постоянный магнит в виде кольца накладывался на закрытые веки так, чтобы оптическая ось глаза соответствовала центру кольца. Курс лечения состоял из 10 сеансов с длительностью процедуры от 15 до 30 мин.

Разработанная методика была испытана на 25 больных, у 15 пациентов из этого числа роговая оболочка была поражена герпетическим кератитом, у 5-кератоиритом и у 8- эпителиально-эндотелиальной дистрофией. При выраженных воспалительных процессах глазного яблока использовались постоянные магниты с В = 30 мТл, при начинающейся эпителизации процесса-магниты с В = 20 мТл. На пятый день после воздействия постоянным магнитом у группы больных с поверхностным герпетическим кератитом исчезали воспалительные явления и отек роговой оболочки, эпителизация ее заканчивалась на 8-10 сутки. При глубоких кератитах наряду с постоянным магнитом использовались и лекарственные вещества: ионизированный раствор серебра, глазные лекарственные пленки-канадекс [7]. Такое комплексное лечение ускоряло рассасывание инфильтратов и способствовало ускорению эпителизации роговой оболочки. Острота зрения у группы пациентов с поверхностным кератитом оставалась неизмененной и только у 2 больных она оказалась пониженной из-за наличия легкого поверхностного помутнения. Положительный эффект наблюдался также и у больных с кератоиритом и эпителиально-эндотелиальной дистрофией роговой оболочки; однако лечение этой группы больных было более длительным.

Наиболее широкое распространение для лечения глазных заболеваний нашли приборы, создающие переменное магнитное поле, которое применяется как независимо, так и в комбинации с лекарственными веществами (магнитофорез). Сконструированный для этой цели прибор представляет собой тубус с вмонтированной в него обмоткой с током частотой 50 Гц, индукция МП изменялась от 25 до 50 мТл, время экспозиции - от 10 до 30 мин, поверхность тубуса при работе прибора непосредственно соприкасалась с закрытыми веками.

Прибор применялся при заболевании век (остром мейбомите) для лечения глаз 12 пациентов с различным сроком возникновения воспалительного процесса века и ранее лечившихся лекарственными препаратами в сочетании с физиотерапевтическими процедурами. При лечении МП с индукцией в 10 мТл по 5 минут на процедуру уже после 3 сеансов у больных исчезали воспалительные явления, наметилась тенденция к рассасыванию инфильтратов. Через 2-3 сеанса инфильтраты полностью рассосались. Положительное

воздействие МП с теми же параметрами его применения было отмечено при заболевании слезной железы у 5 больных. На 4 день лечения воспалительные явления в области расположения слезной железы полностью исчезли.

Наиболее широкое применение МП нашло при заболеваниях роговой оболочки /8-9/. Переменное магнитное поле было использовано при поверхностных герпетических кератитах (10 больных) в комплексе с 0,05% раствором димидрола и ионизированном раствором серебра, последние вводи лись путем магнитофореза. Ватный тампон, смоченный водным раствором препарата, закладывался в конъюнктивальную полость глаза, к которому подводился тубус прибора с магнитным полем. В первые дни лечения исчезали явления роговичного синдрома, инфильтраты роговицы становилиось более рыхлыми, что ускоряло рассасывание инфильтратов. Острота зрения у больных не нарушалась.

Несколько отличалась методика применения МП при рецидивирующем герпетическом кератите (10 больных). В этих случаях прибор включался дважды по 10 минут с интервалом между применением в 6 - 8 часов с обязательным использованием противовирусных лекарственных средств, что ускоряло выздоровление пациента.После комплексного лечения больных рецидивов не наблюдалось, в то время как при лечении одними лекаротвенными препаратами отмечалось обострение процесса.

Другая группа больных с эпителиально-эндотелиальной дистрофией роговой оболочки (12 пациентов) лечилась переменным магнитным полем, причины возникновения дистрофического процесса роговицы были самые разнообразные: у шести пациентов - после операции интракапсулярной экстракции катаракты, у других шести - после имплантации искусственного переднекамерного хрусталика. У всех групп больных зрение было понижено до 0,04-0,1. До назначения МП 50 Гц больным проводилась самое разнообразное лечение, включая и физиотерапевтические методы, но эффекта отмечено не было. В этих условиях и применялось МП по указанной выше методике. После 3 сеансов лечения у 5 больных отмечалось просветление роговой оболочки, а после 10 сеансов МП и у 4 пациентов она стала значительно прозрачней. Только у 3 больных эффекта отмечено не было ввиду диффузного помутнения роговой оболочки (наличие вторичной глаукомы). У 9 больных повысилась и острота зрения на 0,1-0,3. Интересно отметить достигнутый положительный эффект при использовании МП для лечения кольцевидной дегенерации роговой оболочки 20 летней давности заболевания с использованием мази коластрол.

Эффективным оказалось переменное МП и при различных непроникающих и проникающих ранениях роговой оболочки, в том числе и при инфицированных /10-11/. В тех или иных случаях приостанавливалось развитие инфекционного процесса в тканях глаза и усиливалось действие лекарственных препаратов. Так, у группы больных (15 человек) с травматической эрозией роговой оболочки переменное МП в первые два дня его использования полностью снимало явления роговичного синдрома с последующей

быстро наступавшей эпителизацией роговой оболочки. При лечении больных, перенесших проникающее ранение роговой оболочки (8 человек), индукцию МП постепенно увеличивали от 10 до 20 мТл с последующим ее снижением до начальной величины. Длительность воздействия МП 10–15 минут. МП назначалось в различные сроки после получения проникающего ранения. У всей группы больных был получен положительный результат – быстро исчезали боли и уменьшались воспалительные явления глазного яблока, рассасывалась гифема и экссудат передней камеры глаза, радужка приобретала нормальный оттенок, рубчик при этом становился более нежным.

Магнитотерапия (с индукцией 10 мТл) в комплексе с рассасывающей медикаментозной терапией была рекомендована больным, перенесшим тяжелый ожоговый процесс, на фоне которого развились дистрофические изменения роговой оболочки. После 10 дней лечения уменьшились шероховатость роговой оболочки и улучшилась ее трофика.

Для лечения больных (12 человек) с заболеванием радужной оболочки и цилиарного тела (ирит, циклит) переменное МП использовалось с индукцией 20 мТл. На второй день лечения у всех пациентов исчезали светобоязнь, блефароспазм, уменьшилась инъекция глазного яблока, после чего включалось комплексное лечение данной группы больных – сочетание переменного МП с кортикостероидом и мидриатиком. Лекарственные вещества вводились в ткани глаза с помощью магнитофореза, что способствовало быстрому рассасыванию преципитатов. При этом больные выписывались на работу гораздо раньше, чем при использовании только одного медикаментозного лечения. Нельзя не отметить эффективность МП в лечении увеитов,особенно рецидивирующих, требующих длительного лечения.

Представляет интерес эффективность воздействия переменного МП при различных кровоизлияниях в среды глаза и,особенно,в стекловидное тело, которое как правило при применении фармакологических препаратов рассасывается медленно и длительно. Преимущество МП при кровоизлияниях в стекловидное тело по сравнению с другими методами лечения очевидно. Группа больных (7 человек) с обширным кровоизлиянием в стекловидное тело,возникшим у трех больных после травмы, у других причину выяснить не удалось. Они длительное время лечились (гепарином, фибринолизином, лидазой и другими лекарственными препаратами), но безрезультатно. Эта группа больных облучалась переменным МП с индукцией 20 мТл, с продолжительностью процедуры в 15–20 мин. После 5 сеансов переменного МП у больных появился слабый рефлекс с глазного дна, повысилась острота зрения до 0,06 и продолжала сохраняться на протяжении всего курса лечения (15 сеансов МП). После однонедельного перерыва лечение было продолжено по той же методике, больные получали 15 сеансов МП. Острота зрения у них повысилась до 0,2–0,3, стали просматриваться и детали глазного дна. У трех пациентов после 3 курсов проведенного

лечения магнитным полем зрение восстановилось полностью, значительно улучшилось оно и у остальных четырех больных.

Нельзя не отметить положительный результат воздействия переменного МП при различных кровоизлияниях глазного дна, возникших вследствие тромбоза центральной вены сетчатки. Такие больные лечатся длительное время и часто на фоне обширных кровоизлияний глазного дна возникает вторичная глаукома, приводящая к гибели глаз. Для рассасывания кровоизлияния глазного дна переменное МП (В = 20 мТл) необходимо назначать как можно раньше, начиная от 5 минут постепенно увеличивая сеанс лечения до 20 минут с постоянным контролем за состоянием глазного дна.

Переменное МП было применено и при дистрофических поражениях макулярной области сетчатки, возникших в результате различных этиологических причин (15 больных). Как известно, при этих заболеваниях ни сосудорасширяющие средства, ни витаминотерапия и другие средства лечения не дают должного терапевтического эффекта. Методика применения переменного МП заключалась в следующем: первый курс лечения состоял из 10 сеансов (В = 20 мТл с последующим месячным перерывом, затем снова повторялся курс лечения МП (10 сеансов, В = 20 мТл), в третьем курсе лечения использовался магнитофорез с новой. В течение года проводилось 3-5 курсов лечения. В результате уменьшилась абсолютная и относительная скотома, расширились границы поля зрения, уменьшилось количество точек со сниженной светочувствительностью в макулярной области. Эта группа больных находилась под наблюдением свыше трех лет, за указанный период времени процесс не прогрессировал, острота зрения сохранялась.

При пигментной дистрофии сетчатки МП было применено (6 больных) с введением в ткани глаза сосудорасширяющих средств (новша и др.), у всей группы больных отмечалось расширение границ периферического поля зрения, отабилизировалась и острота зрения. Положительные результаты лечения переменным МП были отмечены также у больных с атрофией зрительного нерва и неврите.

У больных с высокой прогрессирующей близорукостью от 12 до 20 диоптрий (20 человек), у 10 из них отмечались обширные дистрофические изменения на глазном дне, было сужено периферическое поле зрение на 15 - 20 ^{o} - и изменено центральное зрение. МП применялось с индукцией в 20 мТл, продолжительностью процедуры 15 минут два раза в сутки. Курс лечения- 10 сеансов. В процессе лечения состояние всех больных улучшилось, напряжение в глазах исчезло. После 10 сеансов лечения у 15 пациентов острота зрения повысилась на 0,03-0,1; у остальных - на 0,1-0,2, в среднем острота зрения составляла 0,44 $\pm$ 0,13, у всех пациентов был получен получен положительный эффект. Границы периферического зрения в среднем расширилось на 8 - 15 ^{o} во всех меридианах, а у 3 больных на 15-20 ^{o}. У всех больных расширились границы центрального поля зрения.

Переменное МП оказалось эффективным и при лечении глаукомы с индук-

цией 20 мТл. У больных с открытоугольной глаукомой (20 человек) в различных стадиях и степенью компенсации внутриглазного давления под действием МП оно снизилось в среднем на 5-6 мм.рт.ст. После 10 сеансов магнитотерапии гидродинамические показатели нормализовались, что позволило уменьшить число инстилляций миотиков,а в некоторых случаях полностью их отменить. При закрытоугольной глаукоме компенсация внутриглазного давления отмечена только в период проведения магнитотерапии. Нормализация гидродинамических показателей в начальной стадии глаукомы наступила через 2-3 часа после проведения сеансов магнитотерапии в 82 %, при запущенной глаукоме - 40 %. У 18 из 33 больных получавших курс магнитотерапии относительная скотома I и II уровня уменьшилась, у 20 больных расширилось периферическое поле зрения по назальным меридианам на 10 - 15 °. При остром приступе глаукомы при одноразовом использовании МП (В = 20 мТл) в сочетании с постоянным магнитом (В = 0,2 мТл) исчезал отек роговой оболочки, понижалось внутриглазное давление, а после 5 сеансов МП наступила полная его компенсация, восстановилось и зрение. При вторичной глаукоме применение МП оказалось неэффективным. Лечение больных с периоститом орбиты (3 человека) магнитным полем (В = 20 мТл) показало эффективность этого метода - выздоровление наступило на 10 день при ежедневном использовании МП в течение 15 минут.

Нельзя не отметить значительный эффект в лечении глазных болезней омагниченными лекарственными растворами. Омагничивание раствора производилось путем помещения его на 6 часов в постоянное магнитное поле с индукцией 0,1 Тл. Омагниченный раствор, например 0,3 % гентамицина, был использован для лечения группы больных (8 человек) с инфицированным поверхностным кератитом. На вторые сутки введения его в глаз инфильтрат становился бледней, а на 4 день наступила полная эпителизация, в то время как на контрольной группе больных, где раствор антибиотика не был подвергнут омагничиванию, процесс рассасывания инфильтрата был более длительным.

Итак, использование переменного МП 0,02 - 20 мТл при заболеваниях глазного яблока весьма эффективно, особенно в сочетании с лекарственными препаратами. Противопоказаний не наблюдалось.

Литература.

1. Скрипка В.К. Лечение некомпенсированной глаукомы электромагнитом- Офтальмол. журн., 1978, с.337-339.
2. Верзин А.А., Усов М.М. Воздействие электромагнитных излучений на внутриглазное давление.- В кн.: Физиология и патология внутриглазного давления. М.:1980, с.138-139.
3. Верзин А.А., Колесникова Л.Н. Изменение гидродинамических показателей при воздействии постоянного магнитного поля.- Вестн.офтальмол., 1981. № 1. с.13-15.

4. Верзин А.А. Стабилизация зрительных функций глаза после антиглаукоматозных операций с помощью переменного магнитного поля. - В кн.: Физиология и патология внутриглазного давления. Москва, 1982 с.119-120.
5. Верзин А.А., Колесникова Л.Н. Гидродинамические показатели глаз и переменное магнитное поле. Там же, с.116-118.
6. Вайнштейн Е.К., Луцкер Л.С.,Митюх Д.И., Полякова Л.Я. Влияние переменного магнитного поля на внутриглазное давление, сосуды сетчатки и сосудистой оболочки при местном воздействии на глаз кролика. - В кн.: Нейрососудистая патология органа зрения.Тбилиси, 1976, с. 134-137.
7. Орловская Л.Е., Верзин А.А., Канакова Т.Ф. Применение нового комплексного препарата - канадекс в офтальмологии. В кн.: IУ Всерос. съезд офтальмологов. М.,1982, с.410-411.
8. Верзин А.А., Орловская Л.Е. Применение переменного магнитного поля при некоторых заболеваниях роговой оболочки. - В кн.: Актуальные вопросы рентгенодиагностики, лучевой и физиотерапии в офтальмологии. М., 1981, с.110-111.
9. Вайнштейн Е.К., Зобина Л.В. Новый способ введения лекарственных веществ в ткани под воздействием магнитного поля - магнитофорез. Там же, с. 95-97.
10. Верзин А.А. Воздействие гентамицина на фоне омагничивания переднего отрезка глаза при травматической эрозии роговой оболочки. Антибиотики, 1982, № 10, с.53-54.
11. Ларина Л.А. Влияние переменного магнитного поля на клиничеокое течение проникающих ран роговицы.- В кн.: Актуальные вопросы рентгенодиагностики, физиотерапии и офтальмологии. М., 1981, с. 100-101.

ПРИЛОЖЕНИЕ

I. Глобальный эксперимент по проблеме "Солнце-климат-человек"

В период научно-технического прогресса, характеризующегося освоением экстремальных географических регионов Земли, выходом человечества в космос, среди экологических проблем возрастает научно-практическое значение исследований солнечно-биосферных связей. Пионерские концепции В.И.Вернадского /I/ о биосфере и ноосфере, А.Л.Чижевского /2/ по гелиобиологии заложили методологическую основу указанных научных направлений и явились мощным стимулом для их дальнейшего развития /3,4/.

Установлено важное экологическое значение для различных биосистем естественных электромагнитных полей, являющихся наиболее универсальной формой проявления солнечно-земных связей /5-8/. Расширяются исследования новых проявлений солнечной активности, способных вызвать гелиометеотропные реакции человека и животных /9-I2/.

Исходя из учения В.И.Вернадского /I/ о планетарно-космической сущности биосферы феномен магнито- и метеочувствительности организмов различной степени сложности требует углубления методологических аспектов солнечно-биосферных связей. С позиций гелиобиологии следует признать плодотворными современные представления об адаптации и экологии человека /I3-I5/. В.П.Казначеев /I4/ выдвинул гипотезу, согласно которой электромагнитная среда не только жизненно необходима, но и является одним из первостепенных "уровней" всех сред жизни, где управление биосистемами в норме и патологии наиболее перспективно. Известно, что естественный электромагнитный фон атмосферы Земли в процессе эволюции ее не был однородным и неизменным. Отсюда правомерно предположение о существовании "электромагнитного гомеостатирования" человека и животных, то есть поддержания жизненно необходимой электромагнитной внутренней и в определенной степени внешней среды (их единого компонента). Эти идеи заложены были в трудах В.И.Вернадского и А.Л.Чижевского. В настоящее время, на основании научных фактов, свидетельствующих о высокой чувствительности клеточных культур к изменениям естественного ЭМП Земли /I6/, можно утверждать, что в организмах животных и человека функционирует управляющее устройство, воспринимающее воздействия колебаний внешних ЭМП и затем изменения элементов погоды. Разработана класоификация индивидуальных типов реагирования человека на ЭМП /I4,I7/. Плодотворной является гипотеза "запечатлевания" живыми организмами, включая человека, электромагнитных воздействий в различные периоды II-летнего и других циклов солнечной активности, что способствует, вероятно, формированию разных типов магнито- и метеочувствительности /I2,I4,I7/.

Популяционные закономерности солнечно-биосферных связей в общих чертах известны, хотя нуждаются в дальнейшем углубленном исследовании/2,5, I8/. Остаются спорными и недостаточно изученными механизмы гелиометеотропных реакций - важнейший аспект гелиобиологии. На организменном уровне последние представлены в настоящее время изменениями управляющих и гомеостатических систем /8,19,20/. Широко используются биоритмологические подходы /2I/.

Некоторые особенности гелиометеотропных реакций здорового человека изучены в экологических условиях Дальнего Востока /22/, Европейского Севера СССР /I2,23/, Антарктиды /24/. Вопросы климатофизиологии человека обобщены в ряде зарубежных работ /25,26/. Указанные исследования свидетельствуют о биотропном эффекте климато-погодных факторов, прежде всего геомагнитного поля, что наиболее отчетливо проявляется в полярных районах.

Особый интерес предотавляют вопроси климатопатологии человека. На популяционном уровне выделяются классические работы А.Л.Чижевского /2/, обосновавшего существенную роль одиннадцатилетних циклов солнечной активности в развитии эпидемий, что послужило мощным стимулом для многочисленных исследований в области биоклиматологии. Основные факты получены на организменном уровне.

В многолетних исследованиях Г.М.Данишевского /27,28/, проведенных преимущественно в условиях Севера, представлены особенности гелиометеотропных реакций людей с различной патологией, разработаны принципиальные положения о фазах и некоторых механизмах акклиматизационного процесса человека (концепция адаптационных метеоневрозов).

Используя достижения медицинской климатологии, отечественные авторы накопили интересные материалы по гелиометеотропным реакциям больных с разнообразными заболеваниями. В качестве примера укажем на исследования, проводившиеся в Европейской части СССР /29,30/, Киргизии /3I/, Западной Сибири /I2/, Антарктиде /24/. В этих и многих аналогичных работах принципиально подтверждается концепция и магнито- метеолабильности больного человека и возможность обострения патологического процесса под влиянием природных физических факторов, отличающихся малыми энергетическими характеристиками. В СССР развивается новое направление - медицинское метеопрогнозирование /30/. Существенный вклад в климатопатологию внесли зарубежные исследователи /26,33-35/.

Ценная информация получена на клеточно-молекулярном уровне о механизмах гелиометеотропных реакций. Классическими исследованиями Дж.Пикарди /36/ доказана, в частности, важная роль коллоидных структур в формировании указанных реакций (в опытах in vitro). Молекулярно-биофизическое направление является весьма перспективным /37/. Высказана интересная гипотеза резонансного эффекта ЭМП при взаимодействии с живыми организмами /5/. Обширная информация о механизмах взаимодействия биосистем и физичеоких факторов среды представлена в ряде обобщающих работ /6,7,II,38/.

Все же приходится констатировать неполноту современных представлений о механизмах гелиометеотропных реакций, что обусловлено прежде всего сложностью этого явления. Поэтому потребуются новые концепции и методические подходы. В Сибироком отделении АМН СССР выдвинута гипотеза о "синдроме полярного напряжения", основанная на фактах существенных нарушений окислительных процессов в биомембранах клеток человека на Крайнем Севере под влиянием геомагнитных флуктуаций /I3/. Получила дальнейшее развитие теория о важной информационной роли ЭМП в биосистемах /I6/. Показана высокая чувствительность клеточной культуры теплокровных к изменениям ЭМП Земли /I6/.

Таким образом, несмотря на достигнутые успехи в изучении фундаментальных и прикладных аспектов проблемы "Солнце-климат-человек", остается много спорного и неясного. Не случайно имеется немало скептиков относительно значимости солнечно-биосферных связей в биологии и медицине. При этом они ссылаются на недоказуемость или невозможность гелиометеотропных реакций ввиду малых энергий естественных ЭМП. Это неверно. Мы являемся сторонниками концепции об информационной роли ЭМП для биосистем, что объясняет их биотропный эффект /6,7,39/.

Дальнейший существенный прогресс, а точнее ломка традиционного скептицизма в области солнечно-биосферных связей, могут быть основаны на реализации целевых комплексных междисциплинарных программ по проблеме "Солнце-климат-человек" на стыке астрофизики, климатологии, биологии и медицины. Сибирским отделением АМН СССР разработана научная программа - "Медицинская климатология" или "Солнце-климат-человек" /40/.

Цель программы - разработка научных основ профилактики и коррекции нарушений здоровья и гелиометеочувствительности лиц. Ее задачами являются: выявление новых биотропных факторов космогелиогеофизического и климатометеорологичеокого происхождения, изучение механизмов гелиотропных реакций здорового и больного человека, исследование лечебных свойств климато-географических районов Сибири и Дальнего Востока, разработка научных основ Государственной службы медицинского гелиометео - прогнозирования.

В программе участвуют I6 научных учреждений Сибири, в том числе 5 институтов Сибирского отделения АМН СССР. Особенностью программы является комплексная междисциплинарная разработка фундаментальных и прикладных проблем солнечно-биосферных связей, организация синхронных медико-биологических, гелиогеофизических и метеорологических наблюдений по унифицированным методам сбора, обработки и анализа информации на протяжении нынешнего II-летнего солнечного цикла (I980-I990 г.г.) с раошрением сети пунктов наблюдений в периоды активного (I980 г.) и спокойного (I985 г.) Солнца, когда биотропный эффект природных физических факторов проявляется в соответствии с гелиоактивностью.

В реализации программы глобальных исследований медико-биологических аспектов солнечно-биосферных связей периода активного Солнца -

Глобэко-80 /41/, разработанной учеными Сибирского отделения АМН СССР, участвовали 30 учреждений различных министерств и ведомств. Исследования проведены во многих географичеоких пунктах СССР - от Вильнюса до Владивостока по долготе, Норильска - Еревана по широте, а также в Арктике, Антарктиде, различных акваториях Мирового океана. Синхронно ио - следовались здоровые люди. Наблюдались больные гипертонической болезнью, ишемической болезнью сердца, бронхиальной астмой и хронической пневмонией, язвенной болезнью желудка и двенадцатиперстной кишки. Иопользовались унифицированные методы исследований. Последние осуществлялись ежемесячно (третья декада) и дополнительно - при геомагнитных возмущениях. Астрогелиогеофизичеокая и метеорологическая информация обеспечивалась службой Солнца и региональными учреждениями Государственного Комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды.

Какие же предварительные итоги выполнения программы Глобэкс-80? Полученная информация еще неполностью обработана. Ограничимся отдельными примерами, взятыми из обобщающих публикаций /42-44/.

Популяционный уровень. При изучении временной нетрудоспособности населения Норильска выявлена корреляция с К-индексом числа больничных листов при острой пневмонии ($r = 0,5$), активном ревматизме ($r = 0,79$), ишемической болезни сердца ($r = 0,79$), туберкулезе легких ($r = 0,90$), болезнях нервной системы ($r = 0,80$). Можно предположить, что в условиях Норильска метеолабильность отражает снижение адаптивных возможностей организма. Показатель смертности (число смертельных исходов на 10000 человек населения) в год активного Солнца (1980) возрос и коррелировал с К-индексом ($r = 0,60$). Важная информация получена при анализе материалов службы сокорой помощи. Например, в условиях Норильска в дни с максимальными геофизическими возмущениями отмечалоь наибольшее число приступов стенокардии и инфарктов миокардоа. Все больные - жители Зполярья - оказались метеолабильными, что связывается с ослаблением адаптивных механизмов. Особое значение придается истощению эндогенных антиоксидантов, регулирующих овободнорадикальное окисление липидов в биомембранах /45/.

В условиях Свердловска прослежены некоторые закономерности влияния гелиогеофизических факторов на больных ишемической болезнью оердца. Дополнительная запись электрокардиограмм при использовании прогноза гелиогеомагнитной обстановки привела к увеличению вдвое числа случаев раннего выявления инфаркта миокарда. Профилактическая направленность кардиологической службы города (скорая помощь, поликлиники) привела к некоторому снижению и стабилизации обращаемости к врачам в связи с вне - запными заболеваниями со 161 в 1977-1978 г.г. до 159 на 1000 человек наоеления в 1979-1980 г.г. Это дало, кроме социального, определенный экономический эффект в работе службы окорой медицинской помощи /47/.

Организменный уровень. Этот раздел программы Глобэко-80 - самый обширный, но мы ограничимся лишь некоторыми ссылками.

Исследования на здоровых членах экипажей судов Госкомгидромета СССР в условиях различных акваторий Тихого океана подтвердили наличие корреляций с К-индексом многих гематологичеоких, биохимических, иммунологических показателей организма, свидетельствующих о напряжении адаптационных механизмов. Показатели артериального давления, клино- и ортостатической пробы отражали не столько влияние гелиогеофизичеоких факторов, сколько гигиенических условий плавания /48/.

Среди практичеоки здоровых жителей Норильска выявлена метеолабильность по субъективным ощущениям у 34% обследованных, что на 8–10% больше, чем у аналогичного контингента в умеренных широтах. Это связывается с возникновением на Крайнем Севере адаптивного напряжения организма при развитии предпатологических функциональных изменений /45/.

Наблюдения за 15 практически здоровыми студентами, проведенные в 1980 году на кафедре физиологии Симферопольского университета, показали /46/, что в период геомагнитных возмущений возрастает в $1,65 \pm 0,15$ раз число лейкоцитов, уменьшаются цитохимические показатели содержания неферментных катионных белков и пероксидазы в нейтрофилах периферической крови на 45 и 38% соответственно ($p < 0,05$). У части обследованных частота сердечных сокращений уменьшалась на 15,1% ($p < 0,05$). Наблюдалась тенденция к увеличению минутного поглощения кислорода, максимальной вентиляции легких и основного обмена, а также некоторое снижение коэффициента использования кислорода и резерва дыхания ($p < 0,05$).

У жителей Еревана с цереброваскулярной патологией выявлено влияние геомагнитных флюктуаций на систему микроциркуляции. Обнаруженное при этом резкое падение дзета-потенциала эритроцитов в магнитноактивные дни, вероятно, является пусковым механизмом в последующем развитии различных гемореологических сдвигов /49/.

При лечении больных нейроциркуляторной дистонией и ишемической болезнью сердца в условиях Кисловодского курорта выявлена отчетливая зависимость их физической работоспособности от конкретных погодных и геомагнитных факторов. После проведенного курса лечения действие метеофакторов на организм ослабевает, тогда как влияние геомагнитных возмущений сохраняется и лишь в некоторых случаях уменьшается /50/.

Клеточный уровень. Представляет существенный интерес новые данные о реакциях клеток культуры ткани фибробластов эмбриона человека и фибробластов куриного эмбриона, выращенных из трипсинизированной кожно-мышечной ткани /16/.

Таблица 10 дистантных межклеточных взаимодействий (ДМВ) выражается в повторении морфологических признаков цитопатологического процесса (вызванного в одной из культур с помощью экстремального агента) в другой, интактной культуре ткани, имеющей оптический контакт через тонкие слюдяные или кварцевые пластины.

Как видно из таблицы 10, в период полярного дня (май–июль) проявление ДМВ одинаковы в Норильске и Новосибирске. Во время же полярной ночи (де-

Таблица 10

Проявление дистантных межклеточных взаимодействий в синхронных экспериментах Новосибирск-Норильск 1976-1980 г.г. [14]

Время проведения эксперимента	Новосибирск в %	Норильск в %
Май-июль 1977 г. (полярный день)	40-50	40-60
Ноябрь-декабрь 1976 г.	0	-
Конец декабря - февраль (полярная ночь)	60-80	0
Февраль - март 1980 г. (начало полярного дня)	28	37
	25	0
	57	57
	57	57
	87	87
	0	0

кабрь-февраль) эффект в Новосибирске наблюдался в 60-80% опытов, в Норильске проявления ДМВ отсутствовали до конца февраля. С появлением Солнца над горизонтом, то есть с началом полярного дня, эффект ДМВ в Норильске становился таким же, как в Новосибирске.

Следовательно, существует определенная корреляция биологических эффектов на клеточном уровне с параметрами ГМП, временем и местом проведения эксперимента.

Итак, приведенные выше предварительные результаты работы по программе Глобэкс-80 свидетельствуют о наличии гелиобиологических связей на различных уровнях организации биологических систем. Развитие гелиометеотропных реакций у человека, особенно при заболеваниях, снижающих резервные адаптивные возможности организма, можно в принципе считать доказанным. Хотя имеющиеся научные факты подтверждают, в основном, существующие гипотезы, механизмы магнито- и метеотропности биосистем ими не исчерпываются, необходимы новые методологические и методические подходы. Одним из перспективных мы считаем разработанную в Сибирском отделении АМН СССР гипотезу о "синдроме полярного напряжения" /13,51/.

Реализация программы Глобэкс-80 убеждает в необходимости, кроме фундаментальных аспектов исследования гелиобиологических связей, разработки прикладных вопросов: медицинское гелиометеопрогнозирование, профилактика гелиометеотропных реакций и т.п. Первый опыт по внедрению в практику результатов исследований по медицинской климатологии имеется в институте клинической и экспериментальной медицины СО АМН СССР (Новосибирск), лаборатории полярной медицины СО АМН СССР (Норильск).

Программа Глобэкс-80 позволила объединить всех специалистов, занимающихся проблемами солнечно-биосферных связей (астрономов, геофизиков, ме-

теорологов, медиков, биологов и других). Однако сделанное - лишь начало. Предстоит завершить обработку материалов и их анализ. Необходимо на более высоком методическом и организационном уровне осуществить программу Глобэкс-85.

Литература

I.Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, I965, 374 с.

2.Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, I976, I76 с.

3.Голованов Л.В. Созвучье полное в природе. М.: Мысль, I976, I76 с.

4.Газенко О.Г. Предисловие к книге А.Л.Чижевского "Земное эхо солнечных бурь". М.: Мысль, I976, с.5-20.

5.Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, I974, I75с.

6.Сердюк А.М. Взаимодействие организма с электромагнитными полями, как с факторами окружающей среды. Киев: Наукова думка, I977, 228 с.

7.Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, I968, 288 с.

8.Холодов Ю.А. Влияние электромагнитных полей на центральную нервную систему. М.: Наука, I966, 2I4 с.

9.Владимирский Б.М. Биологические ритмы и солнечная активность. В кн.: Проблемы космической биологии. Биологические ритмы. М.: Наука, I980, т.4I, с.289-3I5.

I0.Маноуров С.М. Новые доказательства связи между магнитными полями космического пространства и Земли. - Геомагнетизм и аэрономия, I969, т.9, №4, с.768-770.

II.Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. - Материалы Всесоюз. научно-технич. симпоз. М.: Наука, I975, т.I, 339 с.; т.2, 207 с.

I2.Андронова Т.И., Деряпа Н.Р., Соломатин А.П. Гелиометеотропные реакции здорового и больного человека. Л.: Медицина, I982, 248 с.

I3.Казначеев В.П. Современные аспекты адаптации. Новосибирск: Наука, I980, I9I с.

I4.Казначеев В.П. Коомогонические аспекты в биологии: живое вещество, внешняя среда и внутренняя среда. - Бюлл. СО АМН СССР, I983, №2, с.62-7

I5.Казначеев В.П. Очерки теории и практики экологии человека. М.: Наука, I983, 260 с.

I6.Казначеев В.П., Михайлова Л.П. Сверхслабые измерения в межклеточных взаимодействиях. Новосибирск: Наука, I98I, I44 с.

I7.Казначеев В.П. Основные методологические аспекты солнечно-биосферных связей. - В кн.: Проблемы солнечно-биосферных связей. Новосибирск, I982, с.5-I0.

I8.Дружинин И.П., Сазонов Б.И., Ягодинский В.Н. Коомос-Земля. Прогнозы. М.: Мысль, I974, 288 с.

19. Сперанский А.П., Полторанов В.В. Роль адаптационно-трофических процессов в механизмах действия магнитных полей. – В кн.: Физико-математич. и биологич. проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.2, с.8–16.
20. Деряпа Н.Р., Неверова Н.П., Соломатин А.А. и др. Влияние геомагнитного поля на состояние функции коры надпочечников. – Там же, с.77–78.
21. Ковальчук А.В., Чернышев М.К. К вопросу о роли многодневных биоритмов в обеспечении связи живых организмов с внешней средой. – Там же, с.47–50.
22. Матюхин В.А. Биоклиматология человека в условиях муссонов. Л.: Наука, 1971, 138 с.
23. Неверова Н.П. Состояние вегетативных функций у здоровых людей в условиях Крайнего Севера. Дис.... д-ра мед. наук. Новосибирск, 1972, 371с.
24. Деряпа Н.Р., Рябинин И.Ф. Адаптация человека в полярных районах Земли. Л.: Медицина, 1977, 293 с.
25. Wilson O. Human adaptation to life in Antarctica. In: Biogeography and Ecology in Antarctica. Ed. by Voon Mieghem and Van Oye. Hauge, 1965, p.670–752.
26. Faust V. Biometeorologie. Der Einfluss von Wetter und Klima auf Gesunde und Kranke. Stuttgart, 1978, 359 s.
27. Данишевский Г.М. Патология человека и профилактика заболеваний на Севере. М.: Медицина, 1968, 412 с.
28. Данишевский Г.М. (ред.) Климат и сердечно-сосудистая патология. Л.: Медицина, 1965, 326 с.
29. Юраж В.Я. Метеотропные реакции при гипертонической болезни и коронарном атеросклерозе. Автореф. дис.... канд. мед. наук. М.: 1963, 23 с.
30. Чекин В.Я. Особенности акклиматизации человека на Кольском полуострове. – В кн.: Здоровье человека на Крайнем Севере. М.: Медицина, 1963, с.28–37.
31. Миррахимов М.М., Гольдберг П.М. Горная медицина. Фрунзе: Изд-во Кыргызстан, 1978, 182 с.
32. Овчарова В.Ф. Медицинская интерпретация синоптических и метеорологических прогнозов. – В кн.: Влияние геофизических и метеорологических факторов на жизнедеятельность организма. Новосибирск, 1978, с.33–44.
33. Ассман Д. Чувствительность человека к погоде. Л.: Гидрометеоиздат, 1966, 247 с.
34. De Rudder B. Grudriss einer Meteorobiologie des Menschen. Berlin, Göttingen. Heidelbergs Springer, 1952, 303 s.
35. Berg H. Solar-terristische Beziehungen in Meteorologie und Biologie. Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1957, 172 s.
36. Пиккарди Дж. Химические основы медицинской климатологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1967, 96 с.

37.Кисловский Л.Д. Реакции биологической системы на адекватные ей слабые низкочастотные электромагнитные поля. - В кн.: Влияние солнечной активности на биосферу. М.: Наука, 1982, т.43, с.148-166.
38.Проблемы космической биологии. Т.43. Влияние солнечной активности на биосферу. Под ред. Гневышева М.Н., Оля А.П. М.: Наука, 1982, 233 с.
39.Плеханов Г.Ф. Экологическая роль внешних электромагнитных полей. В кн.: Проблемы солнечно-биосферных связей. Новосибирск, 1982, с.10-16.
40.Казначеев В.П., Деряпа Н.Р., Неверова Н.П. и другие. Программа исследований по проблеме "Солнце-климат-человек". - В кн.: Адаптация человека к различным географическим,климатическим и производственным условиям. Новосибирск, 1977, т.1, с.62-68.
41.Деряпа Н.Р., Матюхин В.А., Солематин А.П. Программа глобального синхронного эксперимента для изучения медикобиологического действия естественных гелиокосмофизических,геофизических и метеорологических факторов на жизнедеятельность организма. Новосибирск, 1978, с.6-15.
42.Адаптация человека в различных климато-географических и производственных условиях./Под ред. Казначеева В.П. Новосибирск, 1981.
43.Проблемы солнечно-биосферных связей. Новосибирск, 1982, 124 с.
44.Деряпа Н.Р., Хаснулин В.И., Николаев В.Н. Итоги исследований гелиоклиматопатологии человека по программе Глобэко-80. - В кн.: Проблемы солнечно-биосферных связей. Новоосибирск, 1982, с.40-49.
45.Хаснулин В.И. Влияние геофизических факторов Крайнего Севера на здоровье населения Норильского ТПК. - В кн.: Проблемы солнечно-биосферных связей. Новосибирск, 1982, с.70-76.
46.Темурьянц Н.А., Макеев В.Б. Изменение некоторых показателей системы крови во время геомагнитных возмущений. - В кн.: Вопросы климатофизиологии,климатопатологии и климатотерапии. Ялта, 1982, с.99-100.
47.Рождественская Е.Д., Бикмухаметова Р.Г., Фиалко В.А. и др. Некоторые итоги изучения материалов службы скорой помощи г.Свердловска по программе Глобэко-80. - В кн.: Проблемы солнечно-биосферных связей. Новосибирск, 1982, с.64-70.
48.Стенько Ю.М., Двоскин Я.Г. Изучение биотропного действия гелиогеофизических факторов по программе Глобэко-80 в условиях плавания на морских судах. - В кн.: Проблемы солнечно-биосферных связей. Новоосибирск, 1982, с.35-40.
49.Бакунц Г.О., Тунян Ю.С., Акопов С.Э., Меликян Е.Л. Влияние геомагнитной активности на физико-химические свойства крови у больных с нарушением гемодинамики. - Там же, с.82-86.
50.Гарабажиу С.П., Новикова К.Ф. Сравнительная оценка влияния метеорологических факторов и геомагнитных возмущений на показатели физической работоспособности больных нейроциркуляторной дистонией и ишемической болезнью сердца в условиях низкогорья. - Там же, с.76-82.
51.Механизмы адаптации человека в условиях высоких широт. /Под ред. Казначеева В.П. Л.: Медицина, 1980, 199 с.

2.Методология информационно-поисковой системы по электромагнитобиологии и медицине

Многоаспектность проблемы электромагнитобиологии и медицины (ЭМБМ) приводит к публикации в разных типах изданий и рассеиванию в библиотечных фондах и каталогах информации по ЭМБМ, где ее количество составляет ничтожные доли процента. Поэтому отыскать сведения по ЭМБМ, как и по другим направлениям, трудно; положение усугубляется несовершенством каталожных систем поиска [1].

Проблему поиска необходимой литературы по ЭМБМ пытаются решить путем выпуска библиографических указателей, снабжения изданий предметными рубрикаторами, разработки каталогов, создания информационно-поисковых систем (ИПС) и т.д. Однако эффективность этих разработок оказалась недостаточной из-за отсутствия до последнего времени в определенной мере законченной теории кодирования и поиска документальной информации.

Краткому изложению дополненной методологии кодирования и поиска сведений [1], содержащихся в документах, и описанию ИПС по ЭМБМ, созданной на ее основе, посвящен этот раздел. Целесообразность разработки ИПС обусловлены актуальностью и практическим значением проблем ЭМБМ.

Самым совершенным"механизмом" переработки информации, по-видимому, является головной мозг человека. Его информационно-поисковый язык (ИПЯ), каковым является письменно-речевой язык, выработан в процессе развития человеческого общества на основе возможностей ЦНС и анатомического аппарата общения. Основой нервнофизиологического алгоритма переработки информации, по всей вероятности, является заучивание отдельных букв, из которых отроятся слова, запоминание терминов и составление из них фраз. Название однотипных объектов, явлений и т.п. обобщаются более широкими понятиями. Следующим уровнем нервнофизиологического алгоритма является овладение правилами построения фраз, а затем - текстов. Одним из направлений создания эффективных ИПЯ и ИПС является биокибернетичеокое (нервнобионическое) направление в информатике, в рамках которого пытаются воплотить алгоритмы естественных языков в ИПЯ. Трудности реализации фразового уровня нервнофизиологического алгоритма, как показал анализ ряда ИПЯ, вероятно, связаны прежде всего с тем, что не реализуется в достаточно строгой форме основа этого алгоритма.

Новая методология кодирования и поиска документальной и другой информации [1], которая фактически учитывает основу нервнофизиологического алгоритма, включает совокупность известных теоретических и практических подходов и некоторых элементов новых идей. Основополагающей частью этой методологии является теория информационных образов (ИО). ИО возникают в высших отделах ЦНС при поступлении зрительных, слуховых и других сигналов и являются информационными эквивалентами объектов, явлений и т.п. ИО бывают первичные (буквы, цифры и т.п.), однотипные и

разнотипные вторичные (названия конкретных объектов и явлений: соответственно "мозг, печень, почка" и "мозг, клетка, воспаление"), третичные (обобщающие термины: органы, организмы, патология), четвертичные (тексты; сочетания разнотипных вторичных, наборы третичных, комбинации вторичных с третичными словами - фразы: воспаление легких человека и т.п.; сложные слова: пневмония - воспаление легких, конъюнктивит - воспаление слизистой оболочки глаза и др.). Пятый уровень составляют названия наук (информатика, гистология, анатомия). Соответственно различают первичные, вторичные и т.д. информацию, дескрипторы, поисковые признаки документов (ПИД), предикаты, сообщения, поисковые предписания, сигналы и т.п.

Информационные запросы и поисковые предписания представляют, как правило, четвертичные сообщения. Поскольку фразы естественных языков составляются из отдельных слов, то логично основу нервнофизиологического алгоритма применить для формирования поисковых предписаний. Отсюда вытекает первый принцип кодирования ПИД: на отдельном носителе ПИД (перфокарты, магнитные ленты и др.) необходимо кодировать по отдельности вторичные, третичные и пятеричные ПИД. Это позволит отыскать носители по любому отдельному из ПИД названных уровней или разным их сочетаниям (четвертичным ПИД). Если шифровать только вторичные ПИД, то отбор носителей по третичному ПИД потребует такое число поисков, сколько названий объектов составляют данный тип. Например, если необходимо отобрать носители по ПИД "Позвоночные", то придеться осуществить отдельные поиски по ПИД "Человек", "Крыса" и мн. др. Шифрование только третичных ПИД приводит к возникновению шума; поиск по ПИД "Позвоночные" даст в подборке документы о человеке, крысе и т.п. Кодирование только пятеричных ПИД приводит к еще большему шуму.

Второй принцип кодирования ПИД заключается в выделении на кодирующе-поисковой матрице (КПМ; [1]) отдельного информационного поля дескрипторам одного типа [2].

Исследование ИПЯ, тезаурусов, кодификаторов и т.п. ряда ИПС привело к выводу, что четвертичные предикаты, названия явлений, наук, знаки и т.п. объединяют дескрипторы разных типов. Так четвертичный предикат "Личное потребление" [3] группирует следующее: питание (явление), жилье (третичный объектный ИО), книги, журналы (вторичные объектные ИО) и др. Если в документе будет содержаться, например, информация о питании и книгах, то на перфокарте в информационном поле "Личное потребление" можно зашифровать только один из указанных признаков. Чтобы не происходило взаимоисключения, необходимо выделить поля для каждого типа признаков, в которых можно кодировать отдельно слова "Питание" и "Публикации". Таким образом было сделано заключение, что для определения ИО одного типа можно использовать только третичные объектные и другие предикаты. Третичный предикат "Органы" четко выделяет все слова, которые обладают этим признаком: мозг, печень, почка и другие, и

формирует соответствующую ступень иерархии (схема I). Использование лишь третичных предикатов для формирования класса (типа) является существенным дополнением теории исчисления классов математической логики [4].

Число типов объектов, как известно, велико, емкость носителей ПШД ограничена, частота употребления слов разная. Поэтому для максимального использования комбинаторной емкости носителей ПШД необходимо определить, каким типам дескрипторов нужно отводить самостоятельные информационные поля на КПМ, а какие можно кодировать в полях редко встречающихся ПШД [5,6]. Иными словами, требуется определить информационное старшинство типов, построить их иерархию и кодировать прежде всего старшие - третий принцип шифрования ПШД. Старшинство типов объектов можно определить по следующим найденным или известным критериям.

Структурный критерий (первый) старшинства гласит, что старше тот тип, объекты которого образуют объекты другого типа: органоиды старше клеток, так как клетки построены из органоидов (схема) .

Классификационный критерий (второй): старше тот тип объектов, при помощи названий объектов которого можно осуществить классификацию объектов другого типа. Органоиды (ядро, митохондрия и т.п.) старше клеток, так как клетки могут быть подразделены на типы по наборам их органоидов. Например, имеются ядерные (нейроны) и безъядерные (эритроциты) клетки. Органоиды невозможно классифицировать по названиям клеток. Из второго критерия старшинства вытекает, что вторичные названия объектов старших ступеней выступают в качестве третичных предикатов в отношении объектов младших ступеней.

Критерий широты, универсальности (третий): старше тот тип объектов, название которого является признаком большего числа типов. Так "Объективный мир" является признаком любых типов явлений и объектов, поэтому этот признак самый старший и с него начинается схема. При недостаточной емкости носителей ПШД должны шифроваться более универсальные ПШД. Например, документы, содержащие сведения о клетках и органах могут быть представлены в поисковом звене ИПС названиями клеток (I-й вариант) или органов (2-й вариант). В I-м варианте поиск сведений о клетках головного мозга можно вести по названиям нервных клеток (нейрон, глия) и будут получены источники, 100% которых будут содержать искомые сведения. По этому же запросу во 2-м варианте ИПС подборка будет включать только часть документов с необходимыми сведениями.

Числовой критерий (четвертый) - старше тот тип объектов, который многочисленней; названия клеток старше наименований органов, так как абсолютное число клеток значительно больше числа органов.

Временной критерий (пятый) - старше тот тип объектов, который по времени предшествует другому. Клетки старше органов, поскольку в процессе эмбриогенеза размножение клеток предшествует формированию органов.

Критерии старшинства подчинены друг другу и используются последовательно: сначала первый, потом второй и т.д. Старшинство типов на основе этих критериев устанавливается в информативном аспекте.

Иерархия типов объектов (схема I), построенная на базе рассмотренных критериев старшинства, помогает реализовать третий принцип кодирования. При ограниченной емкости ШД носителей шифруют прежде всего самые старшие ШД, затем следующие; исключают из кодирования самые младшие, затем - следующие и т.д. Это оправдано и потому, что, как правило, подбор массивов документов производится по самому младшему ШД (например, собирают литературу о человеке; в этом случае ШД "Человек" встречается в 100% источников сведений и шифровать его нет смысла), который обычно не кодируют. 3-й принцип реализует вероятностный подход при поиске: в подборке, полученной по старшему ШД обязательно будут содержаться документы со сведениями более младших ступеней иерархии.

Критерии старшинства оказались неприменимыми для построения самостоятельной иерархии явлений. Поэтому явления стало возможным поместить на схеме только после построения иерархии типов объектов. И лишь только после этого стало возможным приблизительно указать локализацию на схеме и старшинство наук, дисциплин и т.п. Объективность и всеобщность описанной в данном разделе и проверенной в процессе практической работы методологии классификации подтверждается тем, что некоторые известные структурные классификации (периодическая система химических элементов, классификация организмов) составили готовые ветви иерархии.

Иерархия (схема I), являющаяся развитием первых вариантов иерархии [1,7], позволила увидеть закон однонаправленной (от старших к младшим) универсальности объектов. Он гласит, что объекты старших ступеней являются обязательными структурными компонентами всех младших типов объектов одной линии иерархии. Все явления объектов старших ступеней встречаются в объектах младших ступеней одной линии. В то же время каждый тип объектов обладает специфичными только относительно старших типов объектов явлениями; например, электризация (явление ступени "Тела" и объектов вышестоящих ступеней) не свойственна атомам - отнятие или добавление электрона в атом приводит к ионизации, лежащей в основе и электризации. Перечисление явлений старших ступеней объектов в младших на схеме заменено тремя точками; под двумя точками подразумеваются неуказанные объекты и явления данных ступеней иерархии. Законы универсальности объектов и явлений могут быть объединены в один закон однонаправленной (от старших к младшим) универсальности объектов, явлений (и наук). Из него следует, что объекты и явления младших ступеней не могут быть в объектах старших ступеней; знания наук младших ступеней не обязательны для развития старших, фундаментальных дисциплин.

Термины, являющиеся информационными эквивалентами объектов и явлений, также обладают универсальностью относительно младших типов ИПЯ.

Так термин "ионизация" встречается в качестве ПИД, начиная с источников сведений об атомах и кончая организмами, машинами и т.п. Необходимость включать слова старших областей знаний является одной из причин "размытости" словарного состава любого "узкоспециального" ИПЯ. Из универсальности терминов следует практический вывод: можно разрабатывать ИПЯ только на основе словарного состава данного массива документов, сведения которого охватывают соответствующий участок иерархии. Таким образом, иерархия является готовой КПМ для разных документальных фондов и при создании ИПЯ следует определить участок иерархии, охватываемый данным массивом документов, и использовать терминологический состав этого участка для наполнения ИПЯ терминами-дескрипторами.

Закон однонаправленной универсальности объектов, явлений и наук позволяет решать, в частности, задачи наукометрии: предвидеть и планировать научные открытия, определять круг объектов и явлений, изучаемых той или иной научной дисциплиной, и др. Например, явление электризации, как уже упоминалось, появляется со ступени "Тела" (схема I).Следовательно, электризация должна наблюдаться, и это подтверждено экспериментами и практикой, во всех объектах младших ступеней (организмы, машины и т.п.); если в каких-то телах электризацию еще не наблюдали, то при соответствующих обстоятельствах она может быть открыта. Достоверность и реальность научных фактов можно проверять следующим образом. Например, информация появляется со ступени "Человек"; это явление присуще только высокоорганизованным формам материи /87; поэтому информация не может иметь место в объектах старших ступеней (молекулы, вещества, клетки и т.п.). Использование терминов, обозначающих объекты и явления младших ступеней, при описании старших представляет одну из причин синонимии и других лингвистических трудностей естественных языков и ИПЯ. Возникшая необходимость применить названия объектов и явлений младших ступеней при описании старших, по-видимому, является показателем целесообразности формирования нового слова или новых терминов.

Объекты могут не включать все старшие объекты. Например, молекула воды состоит только из кислорода и водорода. Поэтому закон универсальности справедлив лишь для объектов одной линии. Линией называется идущий снизу вверх участок иерархии (цепочка объектов разных ступеней), структурными частями самого младшего объекта которого являются все более старшие объекты этого участка. Все линии имеют общее начало ("Объективный мир") и заканчиваются объектами той или иной ступени. Например, линия воды включает "Объективный мир"-..."Химические элементы" (водород и кислород)-"Молекулы"(двухэлементные)-"Вода"; линия "Вода организма", проходя до объекта "Вода" по тем же ступеням, что и линия воды, удлиняется до ступени "Организменные", включая одна другую линии. В свою очередь, линия воды состоит из линий "Объективный мир"-... "Атомы", "Объективный мир"-..."Химические элементы" и т.д.

Эффективность ИПС зависит также от количественной характеристики информационной емкости носителей ПШД, количества кодируемых ПШД, отношения количеств поисковой (зашифрованные ПШД) и документальной информации и т.д. Поэтому необходимо остановиться на математическом аппарате нового подхода. Общее число ПШД рассчитывается по формуле [1]:

$$2^X - I ,$$

где X - сумма ПШД соответствующего уровня, информативных терминов источников и т.п. Согласно приведенной формуле источник с 10 вторичными и третичными информативными терминами обладает свыше 10^3 четвертичных поисковых признаков, документ с 20 словами - 10^6, с 30 - 10^9 и т.д.Из формулы следует, что если не закодировать один термин, то потеряется 50% ПШД; кодирование 5 из 20 слов дает возможность зашифровать лишь 0,003% документальной информации в форме ПШД. Каждый ПШД, названный тематическим или объектным признаком [1], можно считать единицей информации. Тематический или объектный признак или единица информации отличается от других единиц измерения количества информации (биты,байты и т.п.) тем, что число собственных признаков в разных единицах бывает разным. Например, единицами информации сообщения "Митохондрия мозга крысы" будут "Митохондрия", "Мозг", "Крыса", "Митохондрия мозга", "Митохондрия крысы", "Мозг крысы" (неполные признаки) и "Митохондрия мозга крысы" (полный признак). В однословных признаках содержится по одной единице собственных признаков, в двухсловных - по три, в полном - семь.

Приведенная формула пригодна для определения числа слов, которое можно образовать, если учитывать артикуляционные трудности и другие обстоятельства не строго, на базе русского (2^{33} - I) или латинского (2^{26} - I) алфавитов. Она применима для количественной характеристики ИПЯ: так разность чисел слов в 10 терминов оборачивается тем, что на основе ИПЯ с большим числом слов можно закодировать в тысячу раз больше ПШД, чем при помощи ИПЯ с меньшим числом терминов, при разности в 100 слов - в 2^{100} раз. Эта формула может быть использована при определении полноты научных статей, количественной информалогической характеристики интеллекта и т.д.

Из количественного анализа следует важный вывод: при создании ИПС необходимо кодировать все информативные слова документа - принцип тотального кодирования [1]. Вероятно, только при тотальном шифровании можно обеспечить документальнсй информацией исследователей такой многоаспектной проблемы, какой является ЭМБМ, использовать максимально возможности документального фонда ИПС, ясно представить характер сведений, которые может выдать система, и т.п. Мерой истинности знаний является близкая к 100% точность предсказуемости изменений, свойств и возможность математически описать явления и объекты изучаемой области знаний. Созданная ИПС по ЭМБМ характеризуется предсказуемостью резуль-

татов поисков, описывается математически. Изложенная методология кодирования и поиска документальной информации применима в ручных, автоматизированных и других ИПС. Она делает понятными некоторые причины недостаточной эффективности ряда ИПС. Каталоги непригодны для осуществления многоаспектных поисков, так как при помощи одной каталожной карточки документ может быть представлен в нем одним из многих ПШД. Иными словами, в каталогах и других поисковых механизмах (ЭВМ и т.п.) низка репрезентативность документальной информации - нарушение принципа тотальности кодирования. Другим недостатком, как уже упоминалось, является применение в роли предикатов названий явлений, четвертичных и пятеричных терминов. В ряде случаев это не позволяет даже образовать поисковое предписание.

Разработанный с учетом изложенной методологии ИПЯ "Биомед" был применен в ИПС по ЭМВМ[1] для 4 тыс литературных и других источников сведений (научные статьи, патенты, монографии, отчеты, обзоры и пр.) на перфокартах с краевой перфорацией К2 (К5); рефераты документов брались готовыми из реферативной литературы, переводились на основании резюме первоисточника с иностранного языка на русский или составлялись сотрудниками после прочтения документа. На каждой карте, кроме реферата, записаны шифр хранения библиотек, библиографические данные, закодировано до I8 первичных (первая буква первого автора документа), вторичных и третичных ПШД. I8 зашифрованных ПШД обеспечивают при поиске получение карты по любому из 262 тыс. четвертичных ПШД (поисковых предписаний). ИПЯ включает свыше 3 тыс. современных научных терминов, использованных в процессе кодирования I0 тыс. современной медико-биологической литературы. ИПС может выдать подборки рефератов по $I0^{I2}$ запросным тематикам (поисковым предписаниям), начиная от квантового и атомарного и кончая организменным и популяционным уровнями биообъектов и их моделей. Сведения перфокартотеки относятся к влиянию ЭМП на человека (приблизительно II00 карт), животных различных видов (I500), их органы и ткани (нервная система - I250, кровь - I000, сердце - 800 и другое), растения (800), субклеточные структуры (500), микроорганизмы - 300, на действие лекарственных и других веществ в норме и при различных патологических, экспериментальных и модельных состояниях и многое другое. Сведения, выданные ИПС "Биомед", которая также включает 6

---

[1] Непосредственно созданием ИПС занимались сотрудники лаборатории информационного обеспечения и экспертизы "Биомед" Московского НИИ психиатрии МЗ РСФСР В.В.Кржечковская, канд. биол. наук Р.А.Копаладзе, Е.В. Астапенко, О.Г.Борисоглебская. Группа источников по ЭМВМ была отобрана из перфокартотеки доктора биол. наук Г.Ф.Плеханова. Инициатором создания системы является С.А.Мезенцев, организаторами - профессор А.А. Портнов и член-корреспондент АМН СССР Б.Т.Величковский.

тыс. источников по биохимии и другим медико-биологическим дисциплинам, использовались при написании научных статей, обзоров, диссертаций, монографий, проведении патентной проработки результатов исследований, оформлении рационализаторских предложений, планировании экспериментов и в других случаях. Информация может быть выдана в виде аналитических обзоров, методических материалов, узкотематических перфокартотек с соответствующими ИПЯ, списков литературы по теме запроса и в других формах. Поиск по одному коду занимает 15-20 мин в массиве по ЭМБМ, во всем фонде - 25-30 мин. Проведено более 300 поисков, в том числе на общественных началах, для сотрудников НИИ по биологическим испытаниям химических соединений и других учреждений АМН и АН СССР, Минздрава СССР и РСФСР, для работников практической медицины. В среднем один поиск давал свыше 100 карт, количество шумящих носителей ПНД составляло 50%, в 4-5% случаев поиск не давал карт совсем.

ИПС пополняется документами при просмотре первоисточников, реферативных изданий ВИНИТИ и ВНИИМИ, по ссылкам, указанным в литературных источниках, и т.п. ИПЯ системы относится к числу реальных языков, т.е. включает только те слова, которые встречались и использовались в роли ПНД проанализированных источников сведений. Это принципиально отличает данный ИПЯ от тезаурусов. При помощи ИПЯ "Биомед" можно закодировать приблизительно 10^{30} ПНД, он относится к языкам дескрипторно-иерархического типа. Если определить место ИПС "Биомед" в ряду существующих, то ее можно отнести к числу локальных из-за характера документального фонда, вида носителей ПНД, развитого языкового обеспечения, которое придало системе характер отраслевой (медико-биологической) универсальности, существенно новой методологии разработки.

ИПС "Биомед" была экспонатом межотраслевой выставки "Научно-техническая информация в СССР - НТИ-80" на ВДНХ СССР.

Таким образом, ИПС по ЭМБМ обеспечивает оперативный поиск реферативно-библиографической информации, позволяет осуществить за год несколько тысяч поисков по соответствующему числу запросных тематик; помогает установить число документов по тому или иному направлению и составить определенное мнение о состоянии той или иной проблемы ЭМБМ. Предполагаемое число источников сведений по ЭМБМ превышает 30 тыс., так как неполная картотека на каталожных карточках, при помощи которой ведется учет вводимых в систему документов и в которой карточки расположены в алфавитном порядке по авторам или заглавию, уже составила свыше 15 тыс. карточек и анализ ссылок источников по ЭМБМ показал, что лишь 20-30% цитируемой литературы по ЭМБМ содержится в алфавитной авторско-заглавной картотеке ИПС "Биомед". При дальнейшем пополнении перфокартотеки по ЭМБМ можно улучшить информационное обеспечение и полноту ответов на запросы. ИПС "Биомед" по ЭМБМ может служить также базой для проведения экспертизы на новизну планируемых и завершенных разработок по электромагнитной медицине и биологии.

Литература

1. Шпаков А.А. Информационно-поисковая система "Биомед" на перфокартах: Теория и метод разработки. М.: Минздрав РСФСР, 1980, 52 с.
2. Гусельников И.И., Турпитько А.Ф. Перфокарты с краевой перфорацией. М.: Высш. школа, 1967, 276 с.
3. Казачков Л.С. Основные принципы языка логических категорий.-Сб.ВИНИТИ, сер. 2, 1977, № 9, с.13-28.
4. Глушков В.М. Основы математической логики. Т. 4. Киев, 1961, 63 с.
5. Шпаков А.А. Личная картотека ученого на картах с краевой перфорацией (на примере картотеки по некоторым вопросам биологии).-Сб. ВИНИТИ, сер. I, 1977, № 8, с.10-12.
6. Шпаков А.А. Об одном способе кодирования информации.-Сб. ВИНИТИ, сер. I, 1978, № 5, с.14-15,28.
7. Шпаков А.А. Информационно-поисковая система "Биомед". М.,1980, 4 с.
8. Сифоров В.И. Информация, связь, человек. М.: Знание, 1977, 60 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Монография "Электромагнитные поля в биосфере" охватывает широкий круг вопросов, связанных с генерацией электромагнитных излучений различными источниками как естеотвенной, так и антропогенной природы, с одной стороны, и с реакциями биологических систем на электромагнитные воздействия - с другой. Читатель введен в противоречивую, на первый взгляд, обстановку научного поиска, получил представление о сложном комплекое проблем со всей их гипотетичностью, дискуссионностью и даже противоположностью отдельных подходов. Именно эта ситуация, отражающая истинное состояние проблемы, и должна служить стимулом к поиску новых, более эффективных путей решения отдельных задач, ибо с каждым открытием, с каждым новым достижением науки все очевиднее становится факт нашего вступления в эпоху новых взаимоотношений человека с окружающей средой. Любое продвижение, даже небольшой успех в научном поиске в большинстве случаев порождает проблемы экологического характера. Чем дальше, тем очевиднее становится необходимость рассматривать, вслед за нашим великим соотечественником Владимиром Ивановичем Вернадским, последействия каждого шага практической деятельности человечества на всех уровнях сложного, но единого механизма биосферы.

Значительную роль в работе этого механизма играют электромагнитные поля и излучения, которые являются одной из форм информационно-энергетического взаимодействия биосистем и, вероятно, обеспечивают согласование биоритмов с изменениями гелиогеофизических факторов.

Уровень напряженности естественных электромагнитных полей определяется, в основном, солнечной активностью через вариации солнечного ветра, межпланетного магнитного поля и изменения потока мощности жесткого электромагнитного излучения, возмущающего ионосферные токовые системы, магнитные поля которых могут регистрироваться на поверхности Земли. На изменения естественных электромагнитных полей накладываются поля антропогенного происхождения, создающие фон "электромагнитных загрязнений" биосферы.

Таким образом, любой биологический объект, в том числе человек, испытывают непрерывное действие суммарного электромагнитного фона, создаваемого различными источниками и изменяющегося по своим параметрам в широких пределах. В связи с этим необходимо всесторонне и комплексно исследовать биологически активные гелиогеофизические факторы и антропогенные излучения внешней среды наряду с изучением экранирующей роли атмосферы Земли и влияния на нее антропогенных воздействий.

Для здорового организма действие природных электромагнитных полей находится в пределах его адаптационных возможностей. Однако, если эти возможности еще не оформились (ранний возраст), или ослаблены (пожилой воз-

раст),или нарушены (патология),то резкие изменения естественных электромагнитных вариаций могут приводить к расстройству физиологических функций. Это положение - одно из возможных путей к объяснению того факта, что для весьма широкого круга явлений биологического мира наблюдается статистическая связь физиологических функций с электромагнитной обстановкой, контролируемой факторами как космического, метеорологического, так и антропогенного происхождения.

Результаты многочисленных экспериментальных исследований демонстрируют весьма интересные явления, связанные со спецификой действия электромагнитных полей на биологические системы. Показана возможность регулирования при помощи электромагнитных воздействий физиологических функций организма и повышение его резистентности, что дает основание к разработке качественно новых мер радиационной защиты; экспериментально показано наличие информационных связей между клетками в ультрафиолетовом диапазоне электромагнитных излучений; обнаружена избирательная способность живых систем к определенным частотным диапазонам электромагнитных полей.

Однако, как следует из приведенного в монографии материала, воздействия особенно слабых полей и низких частот изучены пока еще недостаточно. К началу 80-х годов это было осознано, как отставание науки в разработке одной из проблем экологии, в частности, экологии человека. Создавшееся положение обусловлено тем, что сложившийся опыт, устоявшиеся представления, привычки и навыки часто становятся трудно преодолимой преградой для нетривиальных подходов к интерпретации новых результатов исследований. Не всегда удается специалистам преодолеть инерцию при переходе от работы со сравнительно простыми, во всех деталях моделируемыми системами, к изучению более сложных процессов, характерных для природных явлений. В таких условиях особенно ценны попытки объективно, без навязывания общепринятой точки зрения изложить факты такими, какие они есть, во всей их сложности и противоречивости.

В монографию введен большой эмпирический материал, который призван дать читателю возможность принять участие в творческом процессе, ибо данная авторами интерпретация некоторых результатов наблюдений не всегда является единственно возможной и не всегда однозначно определена истинная роль электромагнитных полей в исследуемых явлениях. Постановка нерешенных вопросов и изложение недоказанных полностью гипотез и предположений, мы надеемся, стимулируют проведение новых экспериментов и выдвижение новых теоретических представлений. Чрезвычайно актуальна, в частности, разработка теоретических основ информационных взаимодействий биологических объектов и роли электромагнитных полей в этих процессах. Последовательно проведенное в монографии представление о существенной роли неравновесных процессов в биологических системах должно в дальнейшем завершиться разработкой общей теории биологического неравновесия. Важным шагом на этом пути, по нашему мнению, может стать теория биологического усиления слабых сигналов, в том числе сигналов электромагнитной природы.

Следует уделить большее внимание экспериментальным исследованиям полей, генерируемых субклеточными элементами, клетками, тканями, организмами и изучению их роли в клеточных взаимодействиях в норме и патологии. Особенно интересны проблемы, связанные с морфогенезом, клеточной дифференцировкой, канцерогенезом.

Решение проблемы взаимодействия электромагнитных полей с биологическими системами может дать интересные результаты в прикладных областях. В настоящее время существуют предпосылки использования постоянных и низкочастотных магнитных полей в медицине (в частности, в онкологии), в управлении поведением биообъектов, в ряде технологий производственных процессов, в технике обнаружения ядерных взрывов и др. С другой стороны, известно большое число медицинских данных, свидетельствующих об отрицательном влиянии на организм человека электромагнитных полей определенных частот и напряженностей (профессиональные заболевания работников электротранспорта, радио- и телестанций, радарных установок). В связи с изложенным возникает необходимость разработки методов использования эффектов взаимодействия электромагнитных полей с биологическими системами в области сельского, лесного и рыбного хозяйств, защиты растений и животных, в борьбе с биологическими вредителями, а также методов использования механизмов воздействия электромагнитных сигналов на организм человека в области медицины, гигиены физкультуры и спорта.

Необходимо наладить повсеместный контроль за электромагнитной обстановкой, на основе которой медицинские учреждения могут разработать и внедрить систему профилактических и лечебных мероприятий.. Развитие и усовершенствование методов электромагнитных воздействий для функциональной диагностики и терапии даст практической медицине важные, качественно отличные от медикаментозных средства воздействия на организм больного, а также использование методов бесконтактного съема информации о состоянии организма. и коррекции его функций.

Разработка проблемы взаимодействия электромагнитных полей с биологическими системами в настоящее время нуждается в специальной аппаратурном и метрологическом обеспечении. В первую очередь необходимо разработать новые и усовершенствовать существующие устройства для измерения параметров слабых электромагнитных полей в широком диапазоне частот. Недостаточно разработанными в настоящее время являются методы измерения дозы поглощаемой объектом энергии электромагнитного поля.

Не менее важно для успеха дела оперативное решение организационных вопросов, в частности, очевидна необходимость создания научного центра, основной задачей которого было бы комплексное изучение биосферы. Таким образом, предстоит провести большую работу научно-исследовательского и научно-организационного характера для того, чтобы одна из важнейших экологических проблем биосферы- проблема взаимодействия внешней среды с биологическими системами - получила должное развитие и соответствующее решение.

В.П.Казначеев, Л.Д.Кисловский, Н.В.Красногорская

О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

ГЛАВА I. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ 5

I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ 5

I.I. Устойчивое неравновесие - основа избирательной чувствительности организма. Б.Г.Ржабек 5

I.2. Реакции живых систем на слабые адекватные им воздействия. Л.Д.Кисловский I6

I.3. Кожный анализатор как возможный канал связи. А.А.Ярошенко, Л.М.Коновалова 26

I.4. Об электромагниторецепции. Г.С.Мансуров 35

2. РЕАКЦИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ 46

2.I.Изменение адаптационных реакций организма и его резистентности под влиянием электромагнитных полей. Л.Х.Гаркави, Е.Б.Квакина, Е.П.Коробейникова, М.А.Уколова, А.И. Шихлярова, Е.Г.Григорьева, Е.С.Котляревская, Н.П.Захарова, И.В.Коленкина, Л.П.Барсукова, Р.Н.Салатов 46

2.2. Влияние электромагнитного фона на кинетику нормального и злокачественного роста. В.Н.Юрьев, Н.В.Красногорская 56

2.3. Физиологически активные инфранизкочастотные магнитные поля. В.Б.Макеев, Н.А.Темурьянц, Б.М.Владимирский, О.Г.Тишкина 62

2.4. Избирательная чувствительность бактерий к инфранизкочастотным магнитным полям. Ю.Н.Ачкасова 72

2.5. Реакции человека при воздействии на кожу светом различного спектрального состава. Н.Н.Лысенко 73

2.6. Реакции центральной нервной системы на электромагнитные поля низкой частоты. А.М.Волынский 77

2.7. Сенсорные реакции человека при воздействии магнитным полем. Ю.А.Холодов, Ю.В.Берлин 83

3. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА КРОВЬ 89

3.I. Некоторые электрические свойства крови и ее изменение под действием электромагнитных полей. Н.В.Красногорская, А.И.Мирошников, А.А.Шпаков 89

3.2. Действие электромагнитных полей на систему свертывания крови. В.Ф.Русяев 97

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА МЕТАБОЛИЗМ И АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ I08
4.I. Особенности обмена веществ и его регуляции при воздействии электромагнитных полей. Н.А.Удинцев I08
4.2. Действие электромагнитных полей различных частотных диапазонов на метаболизм и ферментные системы организма. Ф.А.Колодуб II5
4.3. Изменение ферментативной активности лейкоцитов при действии электромагнитных полей на организм. С.Б.Петричук, З.Н.Духова, Р.П.Нарциссов I24
4.4. Действие магнитного поля на ферментные системы организмов. С.А.Павлович I28
4.5. Электрохимическая модель метаболизма.А.И.Ошв, К.Х.Урусов I33
5. ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ БИОРИТМОВ..... I45
5.I. Влияние электромагнитных полей на биологические ритмы. В.Б.Чернышев, В.М.Афонина, Н.В.Виноградова I45
5.2. Околонедельные ритмы сердечно-сосудистых осложнений и их корреляция с вариациями геомагнитного поля. Р.М.Арсланова, В.И.Почтарев, Н.Г.Птицина I50
5.3. Предсмертные изменения ритмов двигательной активности вьюна в летальном периоде. Ю.В.Марцуков I56
5.4. Влияние Луны на биоритмы. М.М.Горшков, Н.А.Агаджанян .. I65

ГЛАВА ZI. МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ И МОДЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ I7I

I. ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ I7I
I.I. Общие аспекты исследования механизмов биологического действия электромагнитных полей. Л.А.Шелепин, Н.В.Красногорская, Б.Г.Режабек, В.К.Быховский I7I
I.2. О возможной природе электродинамических явлений в живых системах. Е.З.Гак, Н.В.Красногорская I79
I.3. О возможной роли асимметрии биологических структур в реализации эффектов регуляторного характера. В.Е.Жвирблис I85
I.4. О механизмах биологического действия электромагнитных полей низкой частоты. В.М.Абашин, Г.И.Евтушенко I93
I.5. Физико-химические механизмы биологического действия микроволн. Э.Ш.Исмаилов 20I

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА МОДЕЛЯХ ЖИВЫХ СИСТЕМ 207
2.I. Принцип действия магнитных полей на скорость неравновесных процессов. Е.Л.Франкевич 207

2.2. Молекулярные механизмы влияния магнитного поля на радикальные реакции в растворах. Т.В.Лешина, Р.З.Сагдеев ..216
2.3. Возможная роль электрически неравновесных состояний в механизме биоусиления. И.В.Красногорская, В.Н.Юрьев ..223
2.4. Действие неоднородного электрического поля на клеточные суспензии. В.М.Фомченков, Б.К.Гаврилик, А.И.Мирошников, А.К.Ажермачев 232
2.5. О возможных механизмах изменения функционального состояния изолированного сердца при действии магнитного поля. А.Н.Кудрин, Н.Ф.Жданова 242
2.6. Роль ионов кальция и фосфора в реализации магнитобиологических эффектов. В.Б.Макеев, Н.А.Темурьянц, А.М. Ефименко, А.А.Зальцфас 247
ГЛАВА III. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В МЕДИЦИНЕ И БИОЛОГИИ 249
I. Влияние внешних факторов на организм и их роль в медикаментозном лечении. Н.В.Красногорская, А.П.Сперанский, М.М.Десницкая 249
2. Некоторые биохимические проблемы магнитобиологии и магнитотерапии. В.М.Аристархов 256
3. Применение электромагнитных полей в диагностике и терапии. В.П.Малов, М.Н.Захарова 261
4. Методы измерения электрических параметров клеток и их использование в биологии и медицине. Н.В.Красногорская, А.И.Мирошников, В.М.Фомченков, А.Ю.Иванов 271
5. Электрические свойства клетки как индикатор патологического состояния организма. М.В. Голованов 284
6. Скорость оседания эритроцитов в инфранизкочастотном магнитном поле как тест для определения сосудистой патологии. Н.И.Музалевская..... 287
7. Влияние низкочастотного магнитного поля на репаративную регенерацию кости. И.М.Митбрейт, В.Д.Маняхин ....
8. Магнитотерапия в офтальмологии. А.А.Верзин, А.Е.Селимонов, В.И.Сафонов 297
ПРИЛОЖЕНИЯ
I. Глобальный эксперимент по проблеме "Солнце-климат-человек". В.П.Казначеев, Н.Р.Деряпа 303
2. Методология информационно-поисковой системы по электромагнитобиологии и медицине. А.А.Шпаков 312
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 321

Издание осуществлено с оригинала,
подготовленного к печати
Научным советом по проблемам биосферы
АН СССР

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ
В БИОСФЕРЕ**

Том II

**Биологическое действие
электромагнитных полей**

Утверждено к печати
Научным советом по проблемам биосферы
АН СССР

Редактор издательства *Г.П.Панова*

Н/К

Подписано к печати 10.10.84. Т – 05260
Формат 60 × 90 1/16. Бумага офсетная № 2
Печать офсетная. Усл.печ.л. 20,5 + 0,2 вкл.
Усл.кр.-отт. 20,7 Уч.-изд.л. 21,3
Тираж 2200 экз. Тип. зак. 1898
Цена 1р. 80к. Заказное

Издательство "Наука", 117864 ГСП–7
Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90
Ордена Трудового Красного Знамени
1-я типография издательства "Наука"
199034, Ленинград В-34, 9-я линия, 12

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ !

Мировой центр данных (МЦД) по солнечно-земной физике собирает, хранит и распространяет согласно запросам данные по следующим разделам:

Солнечные явления - сведения о количестве пятен, их площади, класоификации; индексы солнечной активности; результаты оптических наблюдений - общие и в отдельных спектральных линиях; данные с магнитных полях Солнца, радиоизлучении, рентгеновском и ультрафиолетовом излучении, об энергичных протонах и электронах, а также описание явлений, связанных с протонными вспышками.

Геомагнитное поле - результаты измерений полей в магнитосфере, записи вариаций магнитного поля Земли по мировой сети обсерваторий, таблицы среднечасовых значений, различные индексы геомагнитной активности.

Ионосфера Земли - результаты радиозондирования ионосферы с поверхности Земли и со спутников; данные о поглощении радиоволн ионосферой, о ее структурных характеристиках; результаты измерений радиошумов.

Космические лучи - данные о солнечных и галактических нейтронах, мезонах; данные мезонных телескопов и ионизационных камер.

Система МЦД состоит из двух универсальных центров: МЦД А (США), МЦД Б (СССР) и ряда специализированных МЦД С, находящихся в различных странах. МЦД Б состоит из двух подцентров: МЦД Б1 (океанография, метеорология, ядерная радиация, ракеты и спутники, гляциология) и МЦД Б2 (планетарная геофизика, солнечно-земная физика, внутреннее строение Земли). Обеспечение функции этих центров возложено на Госкомгидромет СССР (МЦД Б1) и на Академию Наук СССР (МЦД Б2). Деятельность МЦД Б координируется Междуведомственным геофизическим комитетом при Президиуме АН СССР.

В МЦД Б2 в настоящее время имеются на магнитных лентах: геомагнитные индексы, данные ряда геомагнитных обсерваторий, среднечасовые значения межпланетного магнитного поля, данные о числах Вольфа с 1700 г., данные об активных областях Солнца с 1969 по 1980 г.г., результаты измерений потоков и всплесков радиоизлучений Солнца как на фиксированных частотах, так и спектральные, данные о вспышках на Солнце. Имеются два каталога протонных событий, полученные из НИИФ ЛГУ, каталоги измерений общего магнитного поля Солнца как звезды (данные Крымской астрофизической обсерватории АН СССР), данные о распределении фоновых магнитных полей на поверхности Солнца.

Материалы МЦД предоставляются посетителям в читальном зале или высылаются почтой по запросам. Данные могут быть представлены в виде фотокопий, публикаций МЦД или в машиночитаемой форме (на магнитной ленте в форме ЕС ЭВМ).

Запросы следует присылать по адресу: 117296, Москва, ГСП-1, ул.Молодежная, 3, МЦД Б.

Опечатки

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
8	I8 св.	неравновесных	равновесных
23	I5 св.	на	в
I93	I0 св.	статистического	статического
2I4	подпись к рис. 33.	возбужденным светом в поликристаллическом	в возбужденном светом поликристаллическом
253	7 св.	индикации	индукции
266	20 св.	кожовыми	белковыми
270	23 св.	каротидной	коронарной
275	I3 св.	пароксимальной	пароксизмальной