Федеральное государственное бюджетное учреждение
Государственный научный центр Российской Федерации
Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна
Федерального медико-биологического агентства

С.Н. Лукьянова

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕЙРОЭФФЕКТОВ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

(от нейрона к отделу мозга, ЦНС, организму)

Москва, 2023

УДК 53.043 : 612.8
ББК 53.4
Л84

Лукьянова С.Н. Фундаментальная характеристика нейроэффектов слабых электромагнитных воздействий (от нейрона к отделу мозга, ЦНС, организму): монография М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2023. 140 с.

Рецензенты:
Жаворонков Л.П. – профессор НОО МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» МЗ РФ, доктор медицинских наук
Штемберг А.С. – заведующий отделом космической радиобиологии и фармакологии ГНЦ РФ-ИМБП РАН, доктор биологических наук

Настоящая монография представляет развитие исследований, описанных автором в монографии 2015г, где обосновано отношение к слабому электромагнитному воздействию как к раздражителю ЦНС. Ранее изложенный материал дополнен работами, опубликованными автором в 2015-2022 гг, что даёт дополнительные сведения: о реакциях отдельных нейронов, об эффективности режима модуляции и сложности организации ЭМП, об остром и хроническом СВЧ воздействии на человека. В итоге дана фундаментальная характеристика линии эффектов слабых электромагнитных воздействий – от нейрона к отделу мозга, ЦНС (как системе), организму – и путей их модификации. В заключении подчёркивается исключительная важность учёта целого комплекса показателей: ЭМП, состояния организма, экспозиции, наличия дополнительных воздействий – при анализе имеющихся и формировании новых (практически значимых) слабых ЭМВ.
Изложенный материал может представлять интерес и быть полезным широкому кругу читателей, интересующихся нейроэффектами слабых электромагнитных воэдействий.

ISBN 978-5-93064-225-4

© ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2023
© Лукьянова С.Н., 2023

State Research Center A.I. Burnasyan
Federal Medical Biophysical Center
Federal Medical Biological Agency of Russia

S.N. Lukyanova
Professor, DrSc (Biology), Chief Scientific Researcher of Department of Non-Ionizing Radiation

Fundamental characteristic of the neuro-effects of weak electromagnetic influence
(from neuron to brain, CNS, organism)

This monograph presents the development of the research described by the author in the monograph of 2015, where the attitude to the weak electromagnetic effect as a CNS irritant is substantiated. The previously presented material is supplemented by works published by the author in 2015-2022, which gives additional information: about the reactions of individual neurons, about the effectiveness of the modulation mode and the complexity of EMF organization, about acute and chronic microwave exposure to humans. As a result, a fundamental characteristic of the line of effects of weak electromagnetic influence is given – from the neuron to the part of the brain, the central nervous system (as a system), organism and the ways of their modification. In conclusion, the exceptional importance of taking into account a whole range of indicators is emphasized: EMF, the state of the organism, exposure, the presence of additional effects – when analyzing existing and forming new (practically significant) weak EMFs.

This monograph is of exceptional interest, first of all, for specialists dealing with weak non-ionizing radiation in assessing their effectiveness or safety for the body of animals and humans in conditions of isolated and combined action.

Предисловие

Огромный материал экспериментов на животных и исследований с участием добровольцев даёт фундаментальное обоснование ответу на вопрос – что же такое слабое электромагнитное воздействие? С точки зрения физики – это нетепловая интенсивность и короткая экспозиция, что в данном исследовании проходит через всю работу с ЭМП СВЧ диапазона 1÷10 ГГц (ППЭ ≤ 300мкВт/см², не только в среднем, но и в импульсе; экспозиция 1÷5мин). В результате биологической оценки известно, что такие воздействия (в отсутствии каких-либо отягощающих обстоятельств) не вызывают значимых изменений в жизнедеятельности организма. Однако на них реагируют отдельные клетки и отделы в мозге, что может служить фундаментальной основой формирования соответствующих реакций на уровне ЦНС (как системы) и открывает пути их возможного усиления с отражением в состоянии организма. Это и доказано в настоящей работе для слабых электромагнитных воздействий в сопоставимых корректных условиях, что сделать по анализу литературы не представляется возможным.

Корректное исследование биоэлектрической активности мозга на различных уровнях его функционирования, выполненное в условиях in vivo при использовании неметаллических электродов, проводов и микроманипулятора, составляет уникальную особенность данной работы. Подобный комплекс экспериментов на животных и исследований с участием добровольцев в литературе, практически, отсутствует.

Многочисленные эксперименты по анализу ответов нейронов в условиях in vivo статистически значимо показывают, что слабое ЭМВ-неспецифический, неадекватный раздражитель для нейрона. Основная реакция – уменьшение количества импульсов, т.е. усиление процессов торможения. Это – важная фундаментальная характеристика, т.к., именно нейроны, свидетельствуют о том, какой из двух нервных процессов определяет изменения в ЦНС. Эта реакция является результатом непосредственного действия поля на ткань мозга, что доказано комплексом экспериментов на: интактном мозге; нейрональнo – изолированной полоске коры; изолированной нервной цепочке речного рака. Определяется эта реакция, исключительно, исходным фоном, который может быть (спонтанно или навязано) благоприятным или неблагоприятным для проявления реакции. Этим объясняется и различная реактивность нейронов в коре и подкорковых структурах, что и определяет внутрицентральные взаимоотношения. Это очень интересный вывод, который даёт возможность управлять реакцией ЦНС на слабое ЭМВ, изменив исходное состояние того или иного отдела, как показано в экспериментах с кофеином и адреналином.

В условиях оптимального фона и усложнения режима ЭМП можно видеть усиление реакции, и её отражение в суммарной биоэлектрической активности, характеризующей ответ отдела мозга. Параллельная запись импульсной и суммарной активности мозга даёт возможность наблюдать это явление. Реакция нейрона в виде торможения импульсной активности сопровождается усилением альфа диапазона ЭЭГ. Это и есть основной отклик в суммарной активности, который описан в работах и других авторов (как ЭЭГ изменения) на слабые воздействия ПМП и ЭМП. Анализ этой более сложной и более устойчивой активности мозга позволил получить дополнительную информацию о: латентных периодах, зависимости от исходных фоновых значений ЭЭГ и параметрах поля. Они более сложные и дают фундаментальное представление о реакциях отделов мозга, т.е. на более высоком уровне организации ЦНС. В данном случае зависимость от фона не ограничивается только исходными значениями конкретного спектра; свой вклад вносят и корреляционные отношения между ЭЭГ передних и задних отделов мозга и типологическая особенность альфа диапазона. Эти дополнительные сведения не находили отражения в работах других авторов. Новая важная информация получена и по вопросу зависимости реакции от параметров ЭМП. Доказано, что (как и в случае других стимулов – свет, звук) можно усилить (или навязать) в ЭЭГ частоту, соответствующую модуляции ЭМП. При этом эффективным является не только способ обратной связи от волн ЭЭГ, но и плавное изменение частот в заданном диапазоне.

Наличие модуляции, её усложнение, а также организация ЭМП путём одновременного действия нескольких несущих частот, усиливали эффект. В таких случаях показатели реакции могли выходить за пределы одного отдела мозга, формируя межцентральные взаимоотношения, характеризующие состояние ЦНС. Влияние на ЦНС (как систему) представлено в экспериментах, направленных на изучение выработки условного рефлекса на ЭМП и его влиянии на вызванные светом или звуком ответы. В этих случаях в реакцию включаются целые комплексы структур (проводящие пути), формирующие отклик системы. Показано, что и на этом уровне работы мозга находят отражение реакции нейронов и отделов. Данные о преимущественно тормозной реакции нейронов и больших латентных периодах ЭЭГ изменений являются причиной замедленной выработки и слабой прочности условных рефлексов, а также – торможения вызванных ответов на свет и звук.

Использование оптимальных параметров и условий ЭМВ, а также увеличение экспозиции, приводили к откликам и в других системах (ССС, дыхания, мышечная, крови), что свидетельствовало о реакции

организма. Это влияние на организм могло носить положительный, или отрицательный характер, как показывают примеры в монографии. Первый связан с терапией экспериментального невроза (типа страха) ЭМП, модулированным частотами в альфа диапазоне ЭЭГ, что способствовало их усилению и (параллельно) снижало энергию ритмов напряжения тэта диапазона. Второй пример связан с длительной экспозицией слабого ЭМВ, что находило отражении в поведении животных и успешности выполнения операторской деятельности человека.

Совокупность представленного материала, дополняя данные литературы, доказывает правомерность отношения к ЭМП нетепловой интенсивности и короткой экспозиции как к реально существующему неспецифическому раздражителю для ЦНС, который, согласно законам физиологии, может иметь различную биологическую значимость. Разносторонний методический подход (с учётом статистической оценки данных) даёт возможность получить комплекс результатов, представляющих фундаментальную основу развития нейроэффектов слабых электромагнитных воздействий.

Данная монография представляет исключительный интерес, прежде всего, для специалистов, имеющих дело со слабыми неионизирующими излучениями при оценке их эффективности или безопасности для организма животных и человека в условиях изолированного и комбинированного действия.

Академик РАН
Л. Ильин

Сокращения, используемые в тексте

ИР – **импульсный режим**
КК – **коэффициент кросскорреляции**
МКВ – **микроволны**
НР – **непрерывный режим**
ПГ – **пневмограмма**
ПМП – **постоянное магнитное поле**
ППЭ – **плотность потока энергии**
РЭГ – **реоэнцефалограмма**
СВЧ – **сверхвысокая частота**
ССС – **сердечно сосудистая система**
УР – **условный рефлекс**
ЦНС – **центральная нервная система**
Э–М – **элементы – металлы**
ЭМВ – **электромагнитное воздействие**
ЭМИ – **электромагнитное излучение**
ЭМГ – **электромиограмма**
ЭМП – **электромагнитное поле**
ЭМП РЧ – **электромагнитное поле радиочастоты**
ЭЭГ – **электроэнцефалограмма**

Содержание

ВВЕДЕНИЕ **10**

РАЗДЕЛ 1 Фундаментальные основы реакций нейронов головного мозга на ЭМП нетепловой интенсивности и короткой экспозиции **14**

1.1 Наличие и феноменология изучаемой реакции в сравнении с соответствующими ответами на известные раздражители – свет, звук 16

1.2 Зависимость проявления реакции от фона и параметров облучения 18

1.3 Реактивность нейронов на ЭМП в различных отделах головного мозга 24

1.4 К вопросу о механизме формирования реакции нейронов на ЭМП 30

РАЗДЕЛ 2 От нейрона – к отделу головного мозга (суммарная биоэлектрическая активность) **36**

2.1 Возможный нейрофизиологический механизм передачи информации от нейрона к отделу мозга 36

2. 2 Наличие, феноменология и латентные периоды реакций мозга на ЭМП по ЭЭГ показателю 40

2. 3 Сложная зависимость проявления реакции отдела мозга на эмв от фона (исходные значения спектра, типологические особенности альфа диапазона, корреляционные отношения между ЭЭГ дистанционных отделов) 47

2. 4 Влияние параметров ЭМП на проявление реакции 52

Зависимость от ппэ и режима облучения 56

Возможность навязывания частоты амплитудной модуляции ЭМП ритмам ЭЭГ 56

Усиление эффекта за счёт увеличения количества несущих частот 62

РАЗДЕЛ 3 Реакции ЦНС как системы на ЭМП **71**

3. 1 Выработка условных рефлексов на ЭМП 71

3. 2 Влияние ЭМП на вызванные ответы на свет, звук 72

РАЗДЕЛ 4 Влияние электромагнитного воздействия на состояние организма 82
4.1 Выход реакции на ЭМП за пределы цнс путём усиления его биологической значимости 82
4. 2 Примеры положительного и отрицательного влияний слабых ЭМП на организм 89

РАЗДЕЛ 5 Реакция мозга человека на слабое ЭМВ 106

РАЗДЕЛ 6 Значение фундаментальных основ нейроэффектов слабых электромагнитных воздействий для их практического использования 120

ЛИТЕРАТУРА 131

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа – обобщение результатов собственных исследований нейроэффектов слабых магнитных и электромагнитных воздействий. Представлено обоснование фундаментальной характеристики соответствующих эффектов на различных уровнях функционирования ЦНС. В основе направления изучения данного вопроса и трактовке полученных результатов – труды известных радиобиологов и физиологов (учителей автора) – академика М.Н. Ливанова[1] и профессора Ю.А. Холодова[2]. Они стояли у истоков изучения биоэффектов неионизирующих излучений. Центральное место в их работе отводилось анализу реакций ЦНС, используя всё разнообразие существующих в то время методов и аппаратурных возможностей. В дальнейшем их ученики, а также учёные других специальностей и стран развивали это направление. В ряде работ, особенно Ю.А. Холодова, можно было встретить высказывание о слабом ЭМВ как неспецифическом раздражителе ЦНС. Учитывалось оно и при соответствующем практическом применении в гигиене и физиотерапии. Предлагались различные параметры и условия для усовершенствования данных процедур практического использования. Однако трудно сопоставимые данные литературы, неоднозначность условий и методов изучения не позволяли представить единой «картины», объединяющей это многообразие данных. Сохранялись вопросы об основополагающей фундаментальной характеристике нейроэффектов слабых электромагнитных воздействий. Соответствующие ответы могли быть получены только в сопоставимых условиях экспериментального изучения реакций на различных уровнях функционирования ЦНС. Такие уникальные возможности были созданы в Институте биофизики МЗ России под руководством академика РАН Л.А. Ильина и профессора Ю.Г. Григорьева. Созданные базы и аппаратурные стенды были уникальны и позволили в корректных идентичных условиях изучать разнообразные ЭМВ, используя различные научные методы оценки функционирования живых организмов. В итоге многие научные сотрудники (в том числе и автор) получили возможность выполнить корректные исследования по изучению эффективности слабых электромагнитных воздействий.

В монографии 2015г [3], привлекая фундаментальные пути изучения данного вопроса, приведены экспериментальные доказательства правомерности отношения к этому воздействия как к полноправному раздражителю для ЦНС. В своём влиянии на организм он подчиняется неспецифическим законам физиологии и в зависимости от параметров облучения, состояния биообъекта и условий воздействия, может иметь

различную биологическую значимость. Это может быть раздражитель подпороговый, слабый, средней силы и даже сильный без изменения энергетической характеристики (ППЭ ≤ 300мкВт/см², не только в среднем, но и в импульсе). В настоящей работе приведены дополнительные данные, которые в совокупности с описанными ранее [3],позволяют увидеть взаимосвязь ответов отдельных нервных клеток, отделов мозга, ЦНС (как системы) и организма. Сопоставление полученных материалов с соответствующими фундаментальными представлениями показало неспецифичность и своеобразие этой линии реакций на слабое электромагнитное воздействие.

В данной монографии, как и прежде [3], через всю работу проходят ЭМП нетепловой интенсивности и короткой экспозиции (1÷10 ГГц, ППЭ ≤ 300мкВт/см², 1-5мин). Материал получен, главным образом, в экспериментах на кроликах в сопоставимых условиях in vivo. Дополняют эти результаты исследования с участием испытателей-добровольцев. В центре анализа – биоэлектрическая активность мозга. Работы отличает использование «безартефактных» (неметаллических) электродов, проводов и микроманипулятора, что в литературе, практически, отсутствует. Именно сопоставимые и корректные условия проведения экспериментов позволяют анализировать связь между изучаемыми реакциями. Комплекс полученных материалов имеет прямое отношение к научному обоснованию существования подобных эффектов, их фундаментальным характеристикам и путям модификации. Работа насыщена конкретными результатами.

В итоге, большой объём экспериментального материала доказывает наличие статистически значимых изменений на ЭМП (1÷10 ГГц, 300мкВт/см², 1с) в экстраклеточной биоэлектрической активности нейронов – основных структурных и функциональных единиц нервной системы [3,4]. Эта реакция реализуется в результате непосредственного действия ЭМП на ткань мозга. Именно нейроны свидетельствуют о том, какой из нервных процессов (возбуждение или торможение) активируется в каждом конкретном случае. Наиболее часто встречаемые (основные) реакции нейронов в виде усиления процессов торможения находят отражение и в суммарной биоэлектрической активности мозга, что можно видеть при параллельной регистрации импульсной и суммарной активности. Однако реакции нейронов могли сводиться, не только к снижению, но и к усилению импульсной активности или отсутствовать, что целиком определялось исходным фоном.

Зависимость от исходного функционального состояния определяла и реактивность различных отделов мозга, что и формировало внутрицентральные взаимоотношения при ответе на изучаемое воздей-

ствие [3,5]. Анализ суммарной биоэлектрической активности различных отделов мозга даёт дополнительную и более чёткую информацию о возможности кумуляции слабых эффектов, о латентных периодах наблюдаемых реакций и зависимости от параметров ЭМП. Первым проявлением кумуляции является более частая регистрация реакции в первую минуту после выключения поля по сравнению с периодом экспозиции. Латентный период изучаемой реакции очень большой по сравнению с ответами на известные адекватные стимулы (свет, звук). Зависимость от фона по данным ЭЭГ анализа является более сложной, включает корреляционные отношения между ЭЭГ различных отделов мозга и типологические особенности ЭЭГ по характеристике альфа диапазона [3]. Именно усиление альфа диапазона описано как основная реакция на слабое ЭМВ [2,3,5]. Изучение зависимости от параметров ЭМП поддерживает мнение Ю.А. Холодова – чем больше меняющихся параметров (в частности, режимы: непрерывный, модуляция меандром, импульсный, пачечно-импульсный), тем эффективнее ответ [2]. В целом, наблюдаемая по суммарной активности реакция -неспецифический ответ на слабый (скорее подпороговый) раздражитель ЦНС.

Влияние слабых ЭМВ на ЦНС (как систему) находит отражение при выработке соответствующих условных рефлексов и в изменении вызванных вспышками света ответов. В том и другом случаях принимает участие группа функционально связанных отделов (проводящие пути) коры и подкорки. Полученные конкретные результаты о больших латентных периодах реакций на ЭМП объясняли отрицательные попытки выработать совпадающий или коротко отставленный рефлексы на данное воздействие. Только в случае увеличения изолированного действия ЭМП (20с – мода в кривой распределения латентных периодов) можно было наблюдать в экспериментах на кроликах выработку условного отставленного двигательного рефлекса избегания. И на этом этапе исследований находит отражение основная реакция нейронов (усиление процессов торможения). Она определяет более слабую по скорости и прочности выработку рефлексов на ЭМП по сравнению со светом и звуком и тормозное влияние на вызванные ответы. Биологическая значимость наблюдаемой реакции чаще соответствует адаптационному ответу на слабый раздражитель для ЦНС и трактуется как охранительное торможение.

Разносторонние исследования показали, что в своём влиянии на ЦНС изучаемое электромагнитное воздействие подчиняется фундаментальным законам физиологии о модификации биологической значимости слабого раздражителя. Усиление его действия можно наблюдать при

усложнении режима облучения, повторении коротких экспозиций и в случаях комбинирования и сочетания с факторами другой модальности [3]. Именно усиление биологической значимости слабого ЭМП приводят к появлению откликов и в функциональном состоянии организма. При этом эффект определяется сложной полипараметрической зависимостью[2,3].Учитывая её составляющие, можно объяснять наблюдаемые ответы на ЭМП нетепловой интенсивности и прогнозировать получение желаемого результата, используя неспецифические законы физиологии. Результаты, полученные в экспериментах на кроликах, нашли своё отражение и в исследованиях с участием испытателей добровольцев. Конкретно приведённые материалы показывают, что и для человека изучаемые ЭМВ-слабый (скорее, подпороговый) раздражитель ЦНС. Усложнение параметров и условий воздействия, может привести к ответным реакциям организма, находя отклик и в работоспособности.

Совокупность представленных материалов может быть полезна при объяснении существующих и разработке новых процедур (задач) практического использования ЭМП нетепловой интенсивности.

* Проведение исследований всегда осуществляли с соблюдением необходимых этических норм и правил, описанных в ряде соответствующих документов: "Правила лабораторной практики Хельсинкской декларации (2000)"; "Правила Европейской Конвенции ETS 123"; "Нормы обращения с животными на основе стандартных операционных процедур, принятых в ФГБНУ «НИИ фармакологии им. В.В. Закусова» Исследования с участием испытателей были полной копией предварительно проведённых экспериментов на кроликах. Испытатели-добровольцы проходили медицинское обследование в клиническом отделе ФМБЦ им. А.И. Бурназяна и принимали участие в исследованиях в присутствии дежурного врача (сотрудника той же больницы).

РАЗДЕЛ 1

Фундаментальные основы реакций нейронов головного мозга на ЭМП нетепловой интенсивности и короткой экспозиции

В данном разделе приведено обобщение и анализ многолетних исследований автором биоэлектрической активности нейронов на ЭМП нетепловой интенсивности и короткой экспозиции. Своеобразный методический подход, разноплановый анализ результатов экспериментов, проведённых в условиях in vivo, в сочетании с большим объёмом данных -отличительная особенность представленного материала. В литературе описание реакции отдельных нервных клеток на ЭМП представлено единичными работами [6-8 и др.]. Они выполнены или в условиях in vitro, или с анализом реакций только до и после воздействия, или с использованием металлических деталей (электродов, проводов, микроманипулятора) в период облучения. Самостоятельного внимания заслуживают работы Р.А. Чиженковой, в которых основной акцент сделан на изучение импульсных потоков популяций нейронов коры[7-8]. Её исследования касаются анализа перестроек электрической активности мозга при влиянии постоянных магнитных и электромагнитных полей. Р.А. Чиженковой принадлежат некоторые приоритетные исследования по генезу электрических реакций мозга на действие неионизирующей радиации, а также по интеграции информации в нейронных структурах коры больших полушарий. Проведенные автором исследования установили, что изучаемые воздействия вызывают перестройки биопотенциалов головного мозга, которые (преимущественно) заключаются в увеличении количества высокоамплитудных медленных волн и вспышек веретенообразной активности. Исследована сложная динамика электрических реакций коры больших полушарий на ПМП. Доказано, что наблюдаемые перестройки биопотенциалов представляют результат влияния самого ПМП, а не физических событий в моменты его включения и выключения.

Следует отметить и ряд исследований последних лет, которые косвенно свидетельствуют о реакции нейронов на ЭМП [9-17]. Используя биохимические, морфологические, биофизические и фармакологические методы изучения реакций ЦНС, они описывают влияние ЭМП на кальцевые каналы, на количество и размеры везикул в синаптических образованиях, на белковые структуры, на движение ионов через мембрану, на процессы апоптоза и аутофагии в стволовых клетках.

Настоящая работа дополняет имеющиеся сведения, представляя анализ экстраклеточной импульсной активности нейронов мозга кролика,

регистрируемой в условиях in vivo до, в период и непосредственно после облучения ЭМП (1 ÷ 10ГГц). Облучению подвергали, главным образом, голову кролика (ненаркотизированного и мягко фиксированного за лапы на деревянном станке). ППЭ на уровне головы ≤ 300 мкВт/см² (не только в среднем, но и в импульсе); экспозиция – 1мин; соблюдали все требования к проведению экспериментов с ЭМП нетепловой интенсивности. Последнее касалось конструкции экспериментальной камеры и замены металлических деталей, находящихся в зоне облучения, что неоднократно нами было описано [3]. Самостоятельного внимания заслуживает микроманипулятор, изготовленный из органического стекла, по аналогии с соответствующим металлическим устройством. Миниатюрный микроманипулятор с шагом винта 500 мкм крепился на голове кролика и позволял регистрировать импульсную активность, не только до и после, но и в период действия СВЧ-фактора. Отводящим электродом служил стеклянный капилляр с внутренним диаметром кончика 1—3 мкм, заполненный 2,5 М раствором KCl (сопротивление 5—20 МОм). Анализировали частоту разрядов нейронов, их характер и динамику в период 3 мин записи: 1 мин – фон, 1 мин – период облучения, 1 мин – период последействия. Статистически оценивали возможность проявления реакции на облучение относительно фона и контроля с ложным воздействием, используя параметрический (критерий Стьюдента) и непараметрический ($\chi 2$) методы оценки. Совокупность перечисленного никогда не была описана в работах других авторов и по настоящее время составляет уникальность методики данного направления исследований.

В процессе экспериментальной работы последовательно пытались найти ответы на следующие вопросы.

1. Имеет ли место сам факт изменения активности нейрона в условиях эксперимента in vivo под влиянием ЭМП нетепловой интенсивности и короткой экспозиции?

2. Чем отличаются эти ответы от соответствующих реакций нейронов на известные раздражители (свет, звук – интенсивность в пределах пороговых значений)?

3.Какова роль фона в феноменологии реакции нейрона на ЭМП нетепловой интенсивности, учитывая, что это – слабое воздействие?

4. Как зависят наблюдаемые изменения от режима и параметров облучения?

5. Существуют ли нейроны, реагирующие только на ЭМП, одинакова ли их реактивность в различных структурах мозга и что определяет внутрицентральные взаимоотношения?

6. Определяющая роль непосредственного действия поля на ткань мозга.

1.1 Наличие и феноменология изучаемой реакции в сравнении с соответствующими ответами на известные раздражители – свет, звук

Ответы на первые два вопроса были получены в экспериментах на 13 кроликах при изучении экстраклеточной импульсной активности 60 нейронов зрительной области коры головного мозга в условиях ЭМП (6 ГГц; меандр 50 Гц, глубина модуляции -100%, ППЭимп. — 200 мкВт/см^2). В результате можно было наблюдать статистически значимые изменения в импульсной активности нейронов. Многочисленными экспериментами показано, что феноменология основной реакции нейронов сводилась к снижению частоты импульсов, т.е. к усилению процессов торможения в ЦНС. В таблице 1 показана разница реакций нейронов на ЭМП, ПМП, свет и звук. В данном случае факторы имели некоторое сходство в физических характеристиках (частота повторения- 50Гц; энергетические показатели соответствовали, скорее, слабому раздражителю для ЦНС) и нейроны отводили от одной и той же зрительной области. Показано, что значимые ($p<0,01$) изменения в фоновой частоте нейронов зрительной области коры головного мозга на ЭМП (при оценке по группе из 60 клеток, относительно контроля -54 нейрона) заключались только в уменьшении количества импульсов.

Таблица 1. Сравнительная характеристика реакции нейронов зрительной области коры головного мозга кролика на слабые воздействия факторами различной модальности : ЭМП, ПМП, свет, звук

фактор (параметры)	кол-во нейронов	кол-во 1-мин воздействий	процент реакций – статистически значимых изменений фоновой частоты	
			учащение	урежение
ЭМП (6ГГц, меандр 50 Гц, ППЭимп. 200 мкВт/см^2)	60	87	6.6	58** ▪
ПМП (1000Э)	41	63	23.40*	36.36**
Звук (50 Гц, на 15 дБ выше порога слыш. чел-ка)	41	108	16.41	29.82*
Свет (50 Гц,τ -1 мс, 0,62 Дж)	41	207	60.97** ▪	25.47*
контроль (ложные воздействия)	54	71	10.88	3.8

Примечание: по группе воздействий – *,** $P<0.05$,$P<0.01$, соответственно, по χ^2 относительно контроля, ▪-$P<0.05$ по χ^2 относительно реакций противоположного характера. Цветом выделены наиболее значимые изменения.

Эту реакцию отмечали в 58 % случаев в отличие от 6.6 % изменений противоположного характера. Сравнение этой реакции с ответами тех же клеток на свет и звук показало, что этот (казалось бы, малоизученный фактор) является обычным неспецифическим раздражителем для нейрона.

В реакциях на ПМП также преобладали изменения в виде торможения (36,36%), однако имели место и реакции противоположного характера (23.40%), и разница между количеством тормозящихся и активирующихся нейронов не была статистически значимой. Следует отметить, что на ЭМП и ПМП изменения реализовались с большими латентными периодами (10 с. ÷ 20 с.) и сохранялись в первую минуту после выключения фактора [3]. Это существенно отличало данные реакции от ответов на свет чуть выше порога в адекватной области мозга. В последнем случае явно преобладала реакция в виде активации, тогда как на звук в неадекватной для него зрительной области значимым по группе нейронов было только снижение частоты импульсации (таблица 1). Это обстоятельство сходно с основной характеристикой реакции нейронов на ПМП и ЭМП. Однако латентный период ответов нейронов на звук измерялся миллисекундами (среднее значение – 110 ± 10 мс), а не секундами, что, по всей видимости, определялось различием соответствующих первичных механизмов.

Сопоставление ответов нейронов одной и той же области на адекватные и неадекватные раздражители впервые было описано Юнгом (1963г), в дальнейшем подтверждено большим числом исследователей, в том числе В.Г. Скребицким [18] и И.Н. Кондратьевой [19]. Важно отметить, что характеристика реакций мозга, которую мы наблюдали на ЭМП и ПМП, описана в литературе (Гершуни Г.В., 1955; Костандов Э.А.,1981г; N.F.Dixon, 1991г) и для других стимулов (более изученных – звук, эл. ток), но только подпороговой величины [20].

Полученные экспериментальные данные и анализ соответствующей литературы позволяют сделать вывод, что ЭМП нетепловой интенсивности и короткой экспозиции (как и ПМП) может быть полноправным раздражителем для нейрона. В этом случае реакция на ЭМП имеет сходство с ответами на известные раздражители подпороговой величины в адекватной области или на слабые (чуть выше порога) стимулы в неадекватной области мозга. Они характеризуются, преимущественно, уменьшением частоты импульсации.

1.2 Зависимость проявления реакции от фона и параметров облучения

Дальнейшие исследования показали, что реакция на слабое ЭМВ зависит от исходного фона и параметров облучения. Как представлено на рисунке1, усложнение режима облучения: непрерывный, импульсный, пачечно-импульсный – повышает биологическую значимость воздействия, переводя его из подпорогового в пороговый, что находит отражение в повышении количества реакций активации (учащение импульсов).

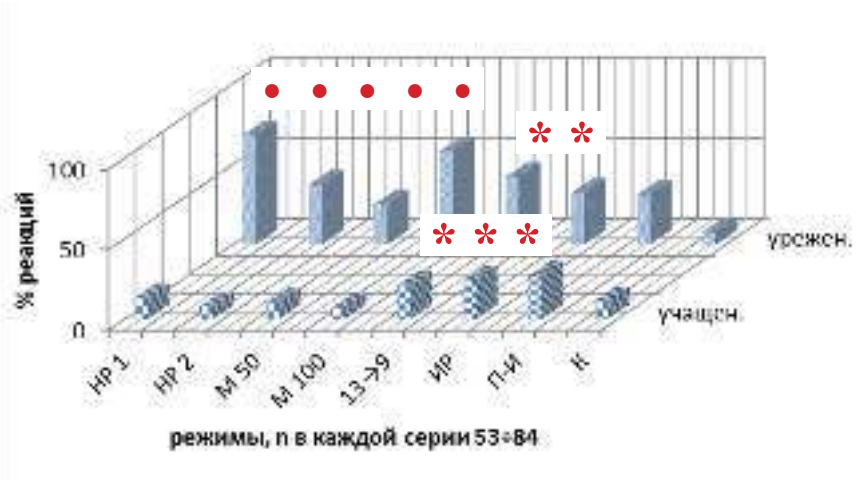


Рис.1 Соотношение процента реакций нейронов зрительной области коры в виде урежения и учащения импульсов на ЭМП различных режимов

Примечание: *, ● P<0.05 относительно контроля, P<0.05 относительно контроля и реакций противоположного характера, соответственно. НР1, НР2, непрерывный режим ЭМП 6 ГГц, 10 ГГц, соответственно, М50, М100 – меандр 50 Гц, 100 Гц, соответственно; 13→9-изменение частот модуляции в альфа диапазоне ЭЭГ ; ИР, П-И, К- в таблице 2.

Реакции на облучение могли заключаться, как в виде снижения, так и повышения частоты импульсов. Это обстоятельство тесно связано, не только с режимом облучения, но и исходным фоном (таблица 2).

Таблица 2. Зависимость реакции нейронов на ЭМП от режима облучения и исходного фона.

Серия режим параметры	Область коры головного мозга (кол-во нейронов)	Характер реакции, (% случаев её проявления)	Средняя частота разряжения нейронов, Гц:		
			в фоне (1 мин)	в период облучения (1 мин)	сразу после облучения (1 мин)
«НР» непрерывный 1.2ГГЦ 300мкВт/см²	передне-центральная (72)	активация (7,6)	6,3 ± 0,74	8,0 ± 0,9	7,2 ± 1.2
		торможение(37,4) •	7,2 ± 0,42	6,8 ± 0,38	5,6 ±0,35*
	теменно-затылочная (56)	активация (7.1)	4,2 ± 0.63	5,1 ±0,4	4,9 ±1,0
		торможение (31)•	6,4± 0,51	5,4 ± 0,8	5,0 ±0,2*
«ИР» импульсный 1.2ГГц, F-0.12Гц τ -0.4мс ППЭимп 300мкВт/см²	передне-центральная (105)	активация (27,62) •	6,1 + 0,89	11,2 ±0,64*	9,2 ± 0,58*
		торможение(32,38) •	8.9 ±0,88	4,32 ± 0,7*	8,85 ± 0,69
	теменно-затылочная (84)	активация (25,1) •	4,9 ± 0,45	8,4 ±0,53*	6,9 ± 0,48*
		торможение(29,76) •	6,53 ± 0,39	4,13 ±0,57*	6,89 ± 0,75
«П-ИР» пачеч.-имп. 1.2ГГц Fимп-1000Гц Fпач.-0.12Гц Т – 0.4мс ППЭимп 300мкВт/см²	передне-центральная (76)	активация (24,1) •	5,5 ± 0,66	16,3 ± 0,78**	6,3 ± 0,64
		торможение (31,0) •	11,8 ± 0,7	4,3 ±0,49**	6,33 ±0,61*
	теменно-затылочная (63)	активация (23,23) •	5,5 ± 0,4	11,25 ± 0,76**	2,83 ± 0,41**
		Торможение (30,4) •	9,67 ± 0,73	3,58 ± 0,68**	4,45 ± 0,61**
«К» ложное облучение	передне-центральная (62)	активация (13,1)	5,2+1,32	6,94 ± 1,5	7,8 ± 1,09
		торможение (8,2)	9,1+0,62	6,1 ±0,83	6,3 ± 0,98
	теменно-затылочная (71)	активация (10,9)	2,3 + 1,5	4,1 ± 1,6	4,4 ± 1,9
		торможение (3,8)	5,5 ± 0,94	3,2 ± 0,92	3,9 ± 0,85

Примечание: • – $p < 0,05$ относительно контроля; *, ** – $p < 0,05$, $p < 0,01$ по критерию Стьюдента относительно исходного фона, соответственно, «НР», «ИР», «П-ИР» – условные обозначения серий.

Так, ЭМП в непрерывном режиме («НР») выступает (в данных конкретных условиях) как подпороговый раздражитель – достоверные изменения по группе нейронов отмечены только в первую минуту после прекращения облучения. Характер этой реакции заключался только в снижении (P<0.05) частоты импульсации. Усложнение режима приводит к статистически значимым по группе изменениям, не только после выключения фактора, но и при экспозиции, а реакция может носить характер, как торможения, так и активации. Чем более сложным является режим облучения, тем больший процент реакций носит характер активации, что отмечается, преимущественно, в период действия фактора.

Анализ конкретных значений частоты разряжения нейронов в процессе эксперимента показывает зависимость феноменологии реакции от исходного фона. Совокупность этих данных, приведена на рис.2.

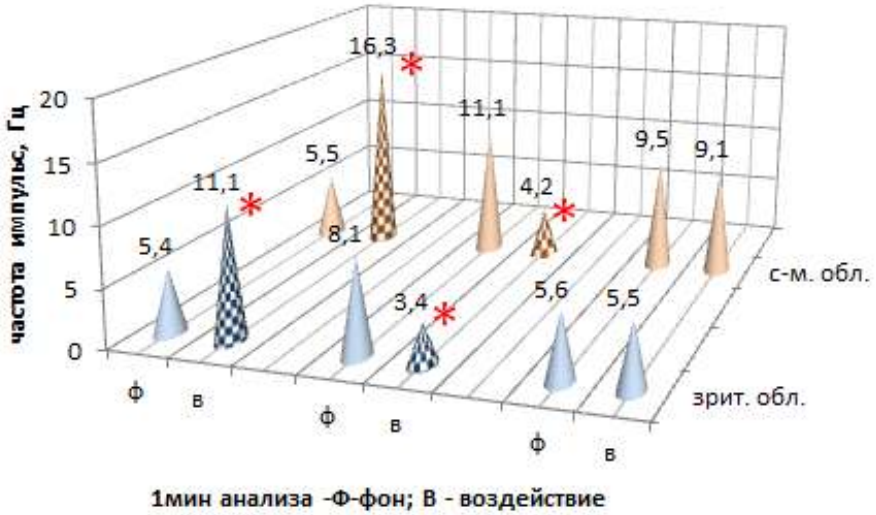


Рис.2 Зависимость реакции нейронов от исходного фона

Примечание: приведены средние данные по 62 нейронам сенсомоторной и 67 нейронам зрительной областей коры головного мозга кролика; ошибки к средним находятся в соответствии с данными таблицы 2.;*- P< 0.01 относительно фона по критерию Стьюдента

Сходная зависимость наблюдалась и в ранее проведенных исследованиях с ПМП [3]. Отмечена зависимость характера реакции от индивидуальных свойств нервных клеток. Увеличение частоты проявления импульсной активности нейронов было характерно для клеток с более низкой фоновой частотой (например, для нейронов сенсомоторной области коры мозга кролика – 5.4±0,02 Гц), расположенных

преимущественно в нижних слоях коры (1600–1800 мкм). Снижение частоты импульсации наблюдали у нейронов с более высокой исходной частотой (8.5±0,04 Гц), расположенных преимущественно в средних слоях коры (600–1000 мкм). Полученные результаты поддерживают мнение Ю.А. Холодова о коррегирующем влиянии факторов магнитной природы [2]. Вышеизложенное находит свое отражение и в гистограммах распределения частоты импульсации нейронов в экспериментах с ЭМП (рис.3,Рис.4).

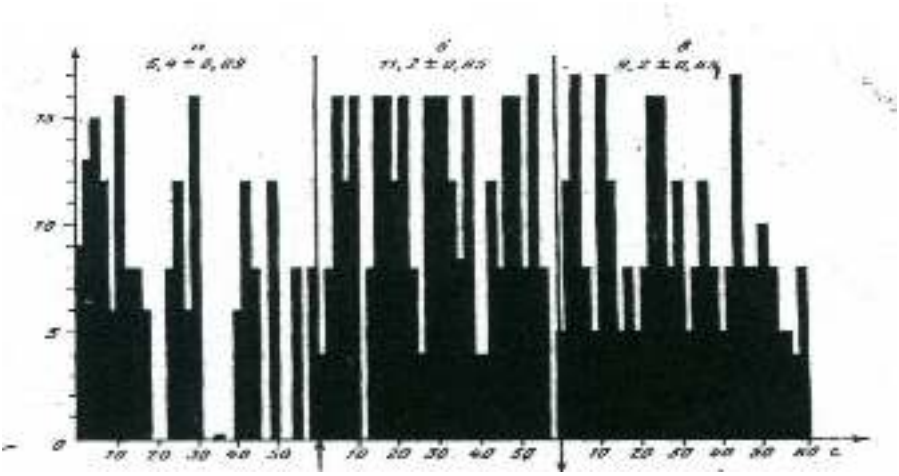


Рис.3. Гистограмма распределения частоты импульсации нейронов, возбуждающихся в ответ на одноминутное СВЧ-облучение.

Примечание: а- фон, б- СВЧ-облучение, в- после экспозиции
По оси абсцисс – время, с; по оси ординат – частота импульсации, имп/с (Гц), приведены средние значения за период анализа-1мин; шаг построения – 0.1с

.

Построение гистограмм дало возможность получить некоторые дополнительные данные. Латентный период реакций измеряется секундами: 10±3 с – для активации, 9±2с -для торможения. Характер разряжения нейронов является, несколько, различным в случае реакций торможения и активации, однако точно охарактеризовать его не представлялось возможным. Чаще всего, при действии ЭМП (как и в фоне) сохранялась регулярная импульсная активность, свидетельствуя об отсутствии изменений, выходящих за пределы физиологической нормы.

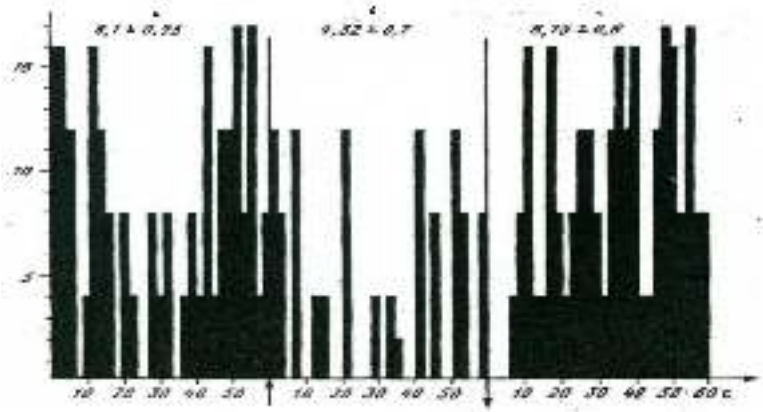


Рис.4 Гистограмма распределения частоты импульсации нейронов, тормозящихся в ответ на одноминутное СВЧ-облучение

Примечание: то же, что и к рис. 3

Примеры оригинальных записей с основной реакцией в виде торможения приведены на рисунках 5 и 6. Чётко показано снижение количества импульсов экстраклеточной биоэлектрической активности нейронов гиппокампа и коры в период экспозиции ЭМП. Приведены данные с СВЧ воздействием 1,5 ГГц, длительность импульса -0,4 мс, частота их повторения -1000 Гц.

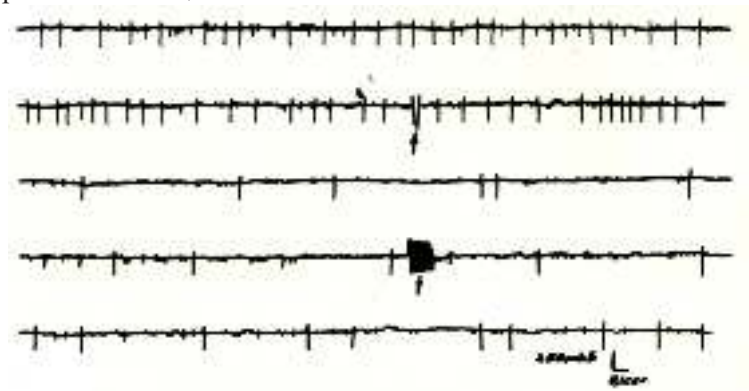


Рис. 5 1Пример оригинальной записи с реакцией торможения на действие ЭМП по показателю импульсной активности нейрона сенсомоторной области коры головного мозга кролика.

Примечание: ↑,↓ – включение и выключение электромагнита ;калибровка: 0.5 см по вертикали – 250 mkv; 0.5 см по горизонтали – 0.1 s; приведена непрерывная запись (1мин-фон, 1мин-действие ЭМП, 1мин-после выключения) со скоростью 10см/с; глубина погружения электрода в область коры 1.2мм

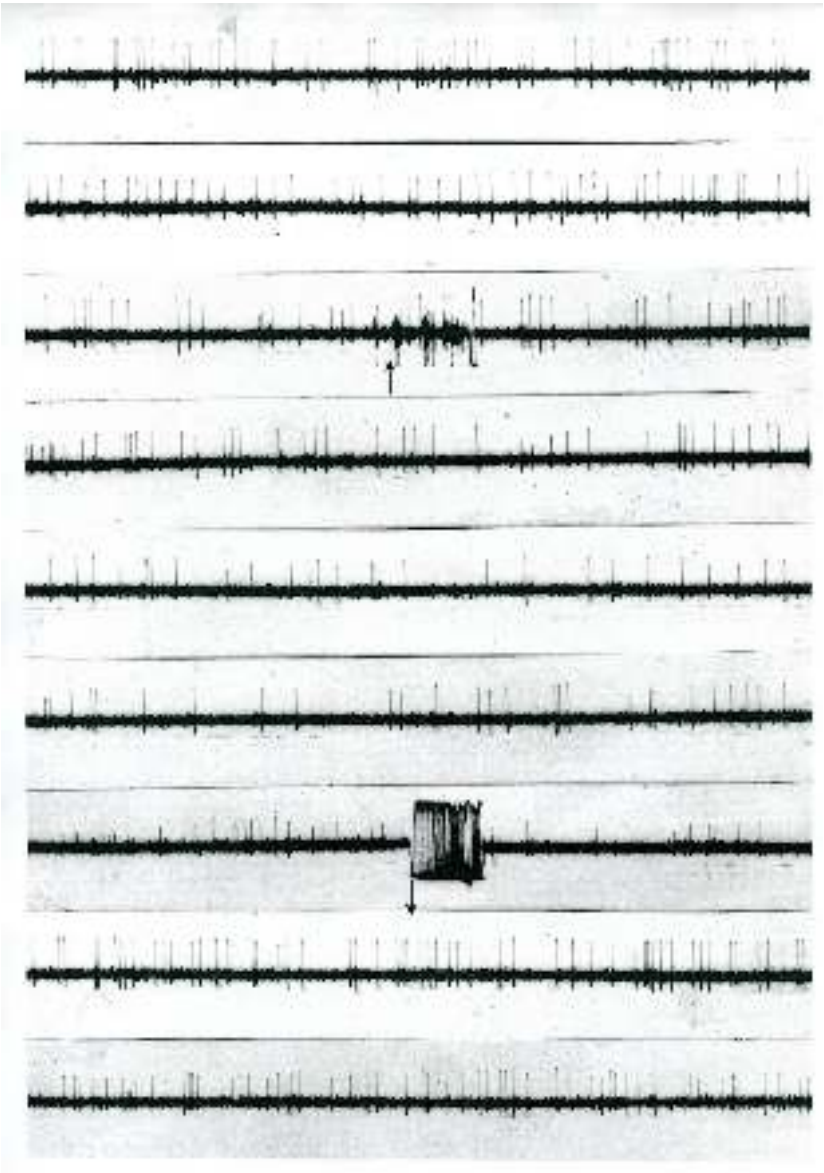


Рис 6. Пример реакции торможения импульсной активности нейронов гиппокампа на ЭМП

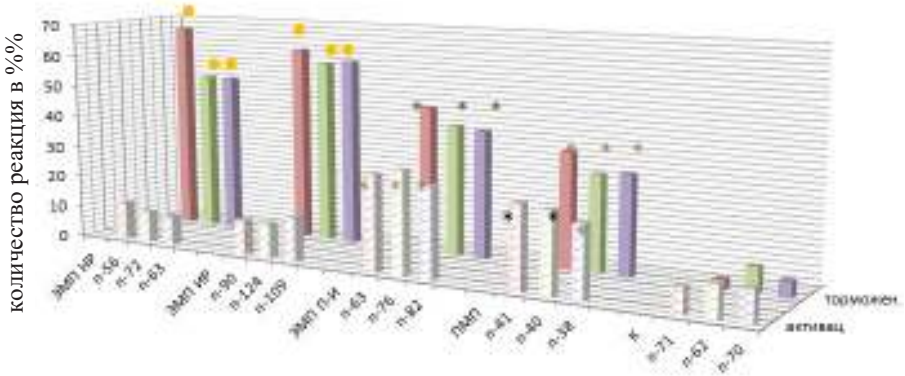
Примечание: ↑,↓ – включение и выключение электромагнита ;калибровка: 0.5 см по вертикали – 250 mkv; 0.5 см по горизонтали – 0.1 s; приведена непрерывная запись со скоростью 10 см/с; глубина погружения электрода в область гиппокампа 4.300 мк

Совокупность материала исследований, практически, является фундаментальным обоснованием следующих положений:

- слабое ЭМВ может вызывать реакцию нейрона, соответствующую ответу на неспецифический, неадекватный раздражитель;
- имеется зависимость ответа от режима облучения, его усложнение может повысить прочность и выраженность реакции;
- исходный фон играет определяющую роль в феноменологии ответа;
- основная феноменология реакции – уменьшение количества импульсов, т.е. усиление процессов торможения, важная фундаментальная характеристика для реакции ЦНС.

1.3 Реактивность нейронов на ЭМП в различных отделах головного мозга

Преобладание реакции торможения импульсной активности нейронов на ЭМП отмечали в различных областях коры.



воздействие, кол-во нейронов, записанных от задних, передних и центральных областей коры

Рис. 7 Характеристика реакций нейронов на ЭМП в различных областях коры головного мозга

Примечание: *, ● – P< 0.05 относительно контроля, реакции противоположного характера, соответственно.

Как показано на рисунке 7, реакции на ЭМП в различных областях коры головного мозга очень похожи, в отличие от ответов на известные адекватные стимулы пороговой величины. Это – одна из особенностей действия проникающих раздражителей (ПМП, ЭМП), для которых нет специализированных областей в мозге. В работах с ПМП и ЭМП [3, 15, 17 ,21] было доказано, что в их нейрофизиологическом механизме преобладает непосредственное действие на ткань мозга, а не рефлекторный

путь. Конечно, если облучению подвергается, главным образом, голова, что проходит через все наши работы. Если же воздействие приходится на другие части тела (в частности, конечности) [2], то в ЦНС наблюдается рефлекторный ответ. При непосредственном действии поля на ткань мозга, как показали наши исследования, нет специализированных нервных клеток, отвечающих только на ЭМВ. В самостоятельной серии на 70 нейронах зрительной области было показано, что на ЭМВ отвечают те же самые клетки, которые реагируют на свет и звук (рис.8).

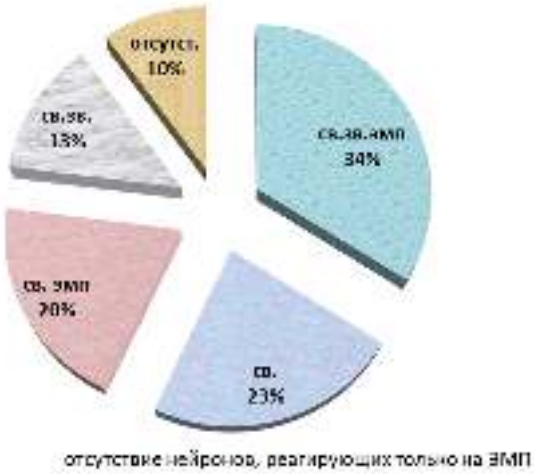


Рис. 8 Конвергенция импульсов разной модальности (свет, звук, ЭМП) на нейронах зрительной области коры головного мозга кролика.

Каждому нейрону в случайном порядке предъявляли свет, звук или ЭМП. Из 70 записанных нейронов, мы не встретили ни одного, который реагировал бы только на ЭМП. Это были клетки, отвечающие на свет, или на свет и звук, т.е. бимодальные и тримодальные нейроны. 23% нейронов изменяли свою активность только на свет (адекватный раздражитель для зрительной области), 10% клеток не реагировали ни на один из раздражителей.

Один из аспектов нейрофизиологического механизма касается внутрицентральных взаимоотношений, возникающих в мозге в ответ на действие того или иного раздражителя. Естественно, возникает вопрос, есть ли в мозге структуры наиболее чувствительные и реактивные к действию ЭМП? Известно, что в условиях целостного мозга, его отделы реагируют не однозначно, как на ПМП, так и ЭМП [2, 3, 21, 22]. Как объяснить это различие (чувствительностью, реактивностью или, исключительно, дозиметрическими характеристиками)? Результаты соответствующих исследований приведены в таблицах 3-7. Данные, представленные в таблице 3, демон-

стрируют участие разных отделов мозга в реакции на 1-минутное действие ЭМП (1 ГГц или 10 ГГц, непрерывный режим, ППЭ 200 мкВт/см²), которое предъявляли на спонтанном фоне. Следует отметить, что все приведенные в таблице воздействия вызывали сходные по феноменологии изменения в разных отделах мозга. Везде преобладали реакции в виде торможения. На этом основании в таблице 3 приводятся результаты оценки только этой (основной) реакции. Говорить о чувствительности структур (в данном случае) не приходится, так как точные латентные периоды ответов нейронов определить не представлялось возможным. Следует только отметить, что они значительно больше соответствующих величин для реакций на свет и звук в адекватных областях. Однако реактивность образований была различной, и она не зависела от характеристик дозиметрии (30 см – 1 ГГц или 3 см – 10 ГГц). Вне зависимости от несущей частоты, наибольший процент реакций наблюдали в гипоталамусе. Несколько меньшая прочность реакции отмечена в коре и неспецифических ядрах таламуса, которые между собой статистически значимо не различались. Наконец, гиппокамп и ретикулярная формация среднего мозга, которые, практически, не реагировали, так как отсутствовали статистически значимые отличия от контроля. Как было показано ранее на примере активности нейронов коры, определяющим в наличии и характере реакции на изучаемые воздействия является исходный фон [3,21,22]. Однако сравнение фоновых частот нейронной активности в различных отделах коры и подкорковых структур не показало их связи с отмеченной реактивностью.

Таблица 3. Сравнительная характеристика прочности реакций нейронов в разных отделах головного мозга кролика на воздействие ЭМП

Отделы мозга	процент нейронов, статистически значимо уменьшающих частоту импульсации (относительно исходного фона) на воздействие:		
	ЭМП		контроль (ложное действие)
	1ГГц	10ГГц	
Cort s-m	42,3** (п-52)	39,5* (п-38)	8,2 (п- 62)
Cort vis.	48,5* (п-33)	48,6* (п-35)	9,8 (п-71)
Hippocampus	23,6 (п-38)	27,2 (п-33)	10,1 (п-41)
Thalami	40,5* (п-42)	27,7* (п-54)	10,0 (п-60)
Hypothalami	70,2*** (п-37)	62,8*** (п-43)	10,1 (п-59)
R.F.	18,6 (п-43)	22,6 (n-31)	11,7 (п-61)

Примечание: n– количество записанных нейронов.*, **, *** – статистически значимые изменения относительно контроля по критерию χ^2 при $p < 0,05$; $p < 0,005$ и $p < 0,001$, соответственно.

Оценка средней частоты разряжения нейронов в фоне и на воздействие в каждом из отделов мозга показала, что (в данном случае) это не является критерием степени его участия в реакции. В качестве примера в таблице 4 приведена сравнительная характеристика средних значений частот активности нейронов в фоне и на воздействие в разных отделах мозга (ЭМВ:1 ГГц, непрерывный режим, ППЭ 200 мкВт/см²). Статистически значимые изменения в виде снижения фоновой частоты при экспозиции и сразу после выключения ЭМП наблюдали в большинстве отделов мозга (кроме гиппокампа и ретикулярной формации), что согласуется с данными таблицы 3. Однако возрастание фоновой частоты импульсации при погружении микроэлектрода в глубину мозга (от коры до ретикулярной формации) не соответствует плавному усилению, а затем снижению выраженности реакции, как было описано ранее для нейронов коры. В каждом (отдельно взятом) отделе такая закономерность прослеживается, однако при оценке степени участия в реакции мозга более правомерно учитывать его функциональное состояние в целом.

Таблица 4. Средняя частота импульсации нейронов различных отделов мозга кролика в фоне, при действии и после выключения ЭМП.

Отделы мозга	Частота импульсации нейронов, Гц		
	фон	воздействие, 1 мин	1 мин после выключения
Corts-m (n = 33)	6,6 ±0,08	5,7 ±0,13**	5,4 ±0,10**
Cort vis. (n = 52)	7,9 ±0,12	6,1 ±0,11**	5,0 ±0,17**
Hippocampus (n = 28)	8,4 +0,19	7,9 ±0,16	8,1 ±0,14
Thalami (n = 42)	9,0 ±0,13	8,1 ±0,09*	7,6 ±0,12**
Hypothalami (n = 37)	10,0 ±0,14	8,0 ±0,12**	7,9 ±0,18**
R. F. (n = 43)	12,0 ±0,70	11,0 ±0,90	11,3 ±0,80

Примечание. Приведены данные, полученные в экспериментах с ЭМП: 1 ГГц непрерывный режим, ППЭ 200 мкВт/см²; n – количество нейронов. *, ** – статистически значимые изменения относительно фона по критерию Стьюдента при $p < 0,05$ и $p < 0,01$ соответственно.

Роль гипоталамуса как главного интегративного центра, где сходятся нервные, гормональные, гуморальные, эндокринные пути регуляции внутренней среды организма, позволяет предполагать наибольшую степень его активности в условиях спонтанного функционирования. Гипоталамус связан нервными путями, практически, со всеми отделами ЦНС, включая кору, гиппокамп, миндалину, мозжечок, ствол мозга, спинной мозг. Вместе с гипофизом гипоталамус образует гипоталамо-гипо-

физарную систему, управляя выделением гормонов гипофиза – центральное связующее звено между нервной и эндокринной системами. Это обстоятельство может служить объяснением наибольшей реактивности этой структуры на слабые раздражители различной модальности. Большое разнообразие ЭМП и ПМП, которые в наших исследованиях проявляли себя как слабые раздражители для ЦНС, вызывали в гипоталамусе изменения в наибольшем проценте случаев и наиболее интенсивные[3]. Сходные результаты наблюдали и в экспериментах с ПМП (рис.9). И в этом случае энергетическая характеристика ПМП не играла главной роли. Для ПМП 46 мТл или 100мТл наибольшая реактивность нейронов отмечена в гипоталамусе, тогда как в гиппокампе статистически значимого количества реакций отмечено не было.

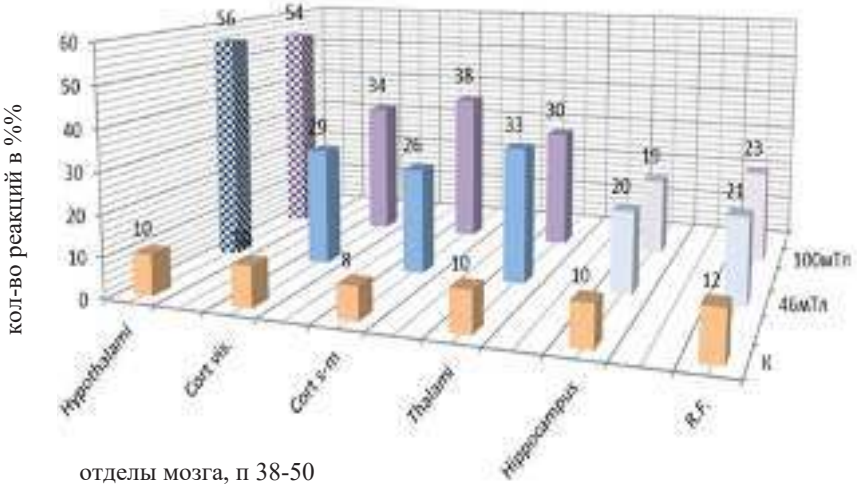


Рис. 9 Реактивность отделов мозга на ПМП различной интенсивности по анализу импульсной активности нейронов.

Ведущее значение функционального состояния структур нашло своё подтверждение в экспериментах с его изменением путём предварительного введения фармакологических веществ. По реактивности структуры распределялись в соответствии со степенью их участия (активности) в формировании нового функционального состояния. При его изменении может измениться реакция ЦНС на ЭМП и, прежде всего, степень участия разных отделов мозга в её реализации [22,23].

Подтверждением сказанному является результат серии экспериментов с анализом нейронной активности в условиях измененного функционального состояния ЦНС путем введения кофеина или адреналина.

Активирующее действие этих препаратов реализуется по различным механизмам [24, 25]. В соответствии с этими механизмами распределилась и степень участия структур в реакции на ПМП с магнитной индукцией 46 мТл [3, 22].

На фоне кофеина, основной точкой приложения которого является кора головного мозга, лидирующее положение по прочности реакции на воздействие ПМП занимают именно эти отделы (рис.10). Усиливаются реакции в гиппокампе и ретикулярной формации, тогда как статистически значимо не изменяются в таламусе и гипоталамусе, что соответствует данным литературы об изменении возбудимости данных структур на внутримышечное введение кофеина в дозе 50 мг/кг [24]

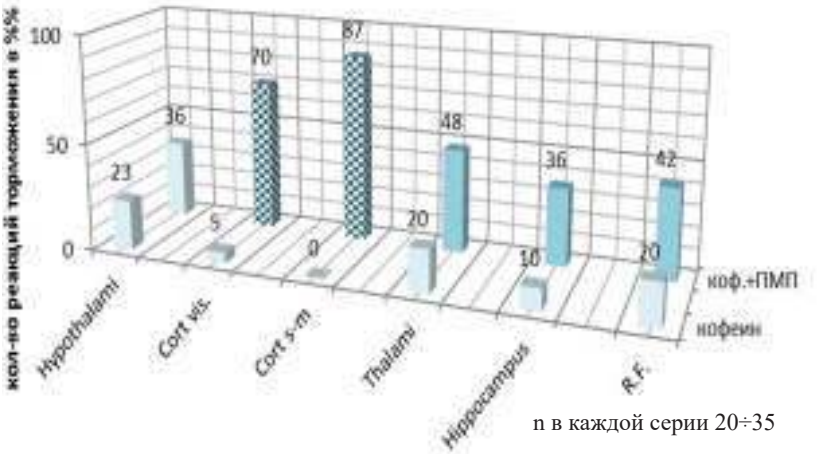


Рис 10. Реактивность отделов мозга на ПМП 46мТл на фоне кофеина по анализу импульсной активности нейронов.

Аналогичные результаты имели место и в экспериментах с введением адреналина. Наибольшая прочность реакции отмечена в ретикулярной формации среднего мозга – основной точке приложения данного вещества (рис. 11). В меньшей степени реакция возросла в коре, гиппокампе и, практически, не изменилась в гипоталамусе, что также соответствует данным литературы о механизме действия адреналина при его внутривенном введении в дозе 0,03 мг/кг [24].

Рис.11. Реактивность отделов мозга на ПМП 46 мТл на фоне адреналина по анализу импульсной активности нейронов.

Таким образом, в головном мозге нет специализированных нейронов и образований, которые воспринимали бы только ЭМП. Это те же нейроны и те же структуры, которые могут отвечать и на другие по модальности стимулы. Реакция зависит от исходного фона, а внутрицентральные взаимоотношения складываются в соответствии с уровнем активности структур.

1.4 К вопросу о механизме формирования реакции нейронов на ЭМП

Вышеприведённые данные об отсутствии нейронов, реагирующих только на ЭМП, и о соответствующей реактивности различных отделов мозга имеют отношение к нейрофизиологическому механизму реализации изучаемых реакций. Однако основным при анализе этого направления исследований было изучение вопроса, каким путём (рефлекторно или непосредственно) осуществляется воздействие факторов магнитной природы на ткань мозга. Доказательством послужили серии экспериментов с различной степенью изоляции нервной ткани (нейрально – изолированная полоска коры головного мозга кролика и нервная брюшная цепочка речного рака) в сравнении с интактным мозгом. Первые результаты были получены в экспериментах с ПМП (таблицы 5, 6). Из приведенных таблиц следует, что различная степень изоляции нервной ткани от соседних влияний не препятствует проявлению реакции на ПМП. Нейроны полоски коры, изолированной по нервным связям от соседних и нижележащих отделов мозга кролика, реагировали также с преобладанием реакций

в виде торможения. Эта основная реакция в условиях изолированного мозга (по сравнению с интактным) наблюдалась в большем проценте случаев (таблица 5). Зависимость феноменологии ответа от частоты в фоне была более выраженной в случае изолированного мозга, а латентные периоды в обеих сериях сохранялись в пределах 10÷20 с.

Более чётко основная реакция нейронов на ПМП проявилась в экспериментах с препаратом полностью изолированной нервной системы – брюшная нервная цепочка речного рака (таблица 7). Этот препарат включает только нервные клетки и соединяющие их нервные волокна

Таблица 5. Реакции нейронов сенсомоторной области коры головного мозга кролика на ПМП в условиях интактного мозга и нейрально-изолированной полоски коры.

особенности эксперимента		Характер реакции							
		активация				торможение			
		F имп -сов, Гц		%	лат. период, (мода, с)	F имп -сов, Гц		%	лат. период (мода, с)
		фон (1мин)	возд. (1мин)			фон (1мин)	возд. (1мин)		
интактный мозг	ПМП (12кр – ков, 81 нейрон, 127 возд.)	7.8± 0.08	10± 0.1 *	24.69#	10–20	10± 0.1	8.1± 0.07 *	30.86 **, #	10-20
	К (23 кр-ка, 81нейрон,103 ложн. возд.)	7.5± 0.1	7.7± 0.2	4.8	–	8.9± 0.18	7.7± 0.9	5.1	–
нейрально изолированная полоска	ПМП (8кр-ков, 22 нейрона, 33 возд.)	5.8± 0.07	8.1± 0.2 *	25.64#	10-20	11± 0.4	7.9± 0.2 *	66.67 **, #	10-20
	К (20нейров, 42 ложн. возд.)	6.0± 0.15	6.5± 0.3	9.04	–	6.8± 0.4	5.9± 1.2	14.28	–

Примечание: *, #, ** – относительно фона , ложного воздействия, реакции активации, соответственно; при P< 0.01 по критерию Стьюдента. Цветом выделено преобладание реакций торможения в условиях нейрально-изолированной полоски по сравнению с интактным мозгом.

В этом случае статистически значимые изменения частоты повторения импульсов (относительно исходного фона) сводились только к их снижению, т.е. реакции торможения. Зависимость направления изменения от фона сохранялась. Фоновая частота клеток, тормозящихся под влиянием ПМП, была статистически достоверно выше соответствующей величины для нейронов активирующихся. Однако в последнем случае сам факт реакции в виде статистически значимого изменения фона по группе исследований отсутствовал, т.е. реакция сводилась, исключительно, к торможению импульсной активности нейрона.

Таблица 6. Реакция нейронов изолированной нервной цепочки речного рака на ПМП

особенности эксперимента	Характер реакции					
	активация			торможение		
	средняя частота импульсации, Гц		Прочность %%	средняя частота импульсации, Гц		Прочность %%
	фон, 1 мин	возд. 1 мин		фон, 1 мин	возд. 1 мин	
ПМП (50 цепочек, 283 возд.)	8±0.4	9.1±1.8	22	10.1±0.7	7.2±0.3*	35#
контроль (20 цепочек, 106 ложных возд.)	7.8±0.4	8.1±0.8	8	8.4±0.7	8.0±0.3	5

Примечание: *, # – статистически значимо относительно фона и ложного воздействия, соответственно, при P<0.01 по критерию Стьюдента. Цветом выделен исключительный характер реакции в виде торможения.

Проведенные одновременно контрольные эксперименты на цепочках, которым было дано 106 ложных воздействий, свидетельствуют об отсутствии достоверных изменений в период ложного включения электромагнита. Каждой цепочке давали по 5-6 истинных и ложных воздействий ПМП, экспозиция 1мин с меняющимися интервалами 1÷3мин. Если сравнить динамику падения фоновой частоты от воздействия к воздействию в экспериментах контрольных и с ПМП, заметна существенная разница. За 5 воздействий в контроле происходило падение среднего значения фоновой частоты на 49%, тогда как в экспериментах с ПМП-на 8,4%. На основании этих данных можно предположить, что после отмены поля изменение метаболических процессов нервной ткани может носить характер восстановления фоновой частоты, что более существенно, чем в контроле. Данное явление можно было наблюдать и при отсутствии реакции на кратковре-

менное воздействие в их динамике. Эти данные, конечно, представляют определённый интерес и требуют дальнейшего обоснования и развития.

Сходные результаты были получены и при использовании ЭМП СВЧ диапазона (Рис. 12). И в этом случае, чем больше была изолирована нервная ткань, тем в большей степени проявлялась основная реакция нейронов в виде торможения импульсной активности.

Приведённые данные не представляли какого-то особенного нейрофизиологического механизма влияния ЭМП на нейроны головного мозга. Основным был результат зависимости ответа от исходного фона, степени его активности, что носит неспецифический характер, свойственный слабым раздражителям. О специфике (в данном случае) может говорить только первичное физико-химическое взаимодействие факторов магнитной природы и нервной ткани.

Можно назвать несколько теорий взаимодействия ЭМП нетепловой интенсивности с биологической тканью. В большинстве из них важная роль отводится заряженным частицам, которые в большом количестве находятся в примембранной области (гликокалекс). Изменение их конформации, движения, может повлиять на проницаемость мембраны и течение местных химических реакций. H. Frehlich[26] полагает, что физической основой взаимодействия ЭМП с биологической тканью являются системы, несущие на себе дипольные заряды или последовательности зарядов, которые под влиянием поля приобретают способность к упорядоченному (кооперативному) взаимодействию. К таким системам носителей заряда относятся молекулы воды, макромолекулы РНК и ДНК, мембранные комплексы и т.д. В мембранах под влиянием ЭМП могут генерироваться как поперечные колебания стенки мембраны [26], так и волны, распространяющиеся вдоль мембраны, что, в свою очередь, может приводить к нарушению генерации и проведению потенциала действия. Образование таких волн сжатия и растяжения в биообъекте не может быть объяснено с позиции теплового действия. Такое предположение следует и из факта наличия, так называемых, частотно-амплитудных «окон». Впервые явление «окон» было обнаружено при анализе изменений выхода гамма аминомасляной кислоты из коры мозга кошки [27] и выхода Ca+2 из мозга цыпленка в зависимости от амплитуды и частоты модуляции [28, 29]. Разнообразные экспериментальные данные: о магниторецепции [30, 31], влиянии на вторичную структуру ДНК [32, 33], на активность холинэстеразы [34], синаптические процессы [35] развивают представление о первичных механизмах взаимодействия ЭМП с тканью мозга. Нужно отметить, что изменение содержания ионов кальция в ткани мозга не может не сказаться на проницаемости клеточных мембран и кооперативной деятельности нервных клеток, что может послужить основой раздражения нейрона и мозга.

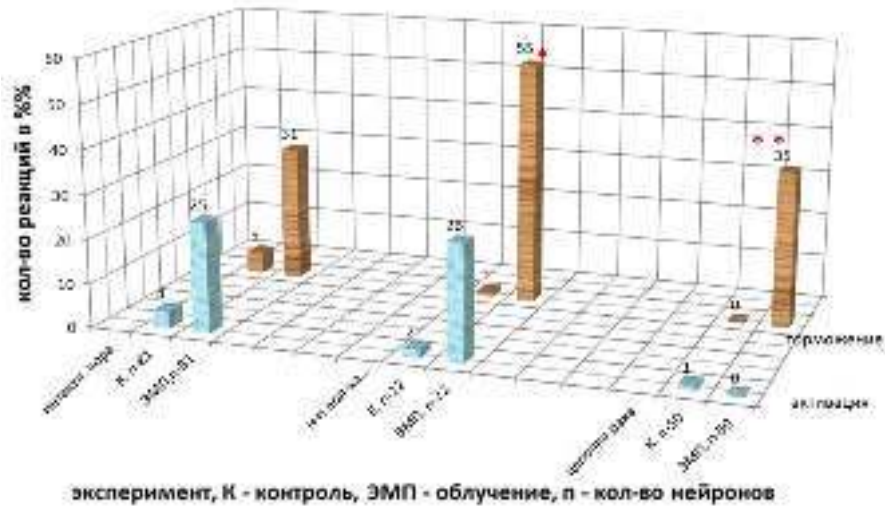


Рис. 12. Сравнительная характеристика реакции на СВЧ ЭМП нейронов коры интактного мозга, нейронально-изолированной полоски и нервной цепочки речного рака.

К первичным механизмам действия ЭМП относят и возможность резонансного совпадения частот модуляции микроволн с автоколебательными процессами в нейронах и других структурных образованиях мозга [36, 37]. В этом случае может иметь место захват частот автогенераторов внешней частотой и смещение их собственных. С другой стороны, существует мнение, что внешнее ЭМП может вызвать возбуждение внутренних осцилляторов. Индуцированное внешним полем резонансное кооперативное взаимодействие зарядов на поверхности клеток может привести к коллективному генерированию низких частот, близких к частотам ЭЭГ [38].

Наиболее ранними теориями, объясняющими нетепловое влияние, являются: теория "точечного нагревания" (некоторые микроструктуры могут нагреваться значительно быстрее, чем рядом расположенные элементы с более низкой проводимостью); теория жемчужных цепей (в жидкостях взвешенные частицы выстраиваются в радиочастотном поле в цепочки); теория нетермической денатурации белка (разрывы внутримолекулярных связей за счёт резонансных сил и изменение зон гидратации могут, в конечном счёте, привести к нетепловой денатурации белка, Романов В.И.1970).

А.С.Пресман (1968 г.) в своей монографии подчёркивает, происходит: изменение калий-натриевого градиента, благодаря различному влиянию микроволн на степень гидратации Na И К ; изменение проницаемости

мембраны клетки за счёт действия микроволн на молекулы воды, белковые молекулы, которые входят в состав поверхностных слоев клеточных мембран. Совокупность приведённых данных свидетельствует о возможности возникновения в живом организме комплекса изменений на уровнях: молекулы, клетки, органа – под влиянием магнитных и электромагнитных полей нетеплового уровня.

В работах В.В. Леднёва [39, 40] приводятся данные о том, что мишенью для ЭМП являются магнитные моменты. Они могут быть, своего рода, антеннами внутри биообъекта, которые воспринимают внешние ЭМП. Изменяя направление магнитных моментов, можно повлиять на временной масштаб химической реакции, тем самым, модифицировать текущие функциональные процессы.

Обсуждая вопрос о механизме формирования реакции нейрона на внешнее электромагнитное воздействие, нельзя не отметить и возможную роль нейроглии, и участие собственных полей организма. Особенность строения, количество клеток нейроглии, её функция привлекали внимание учёных в плане её участие в реакции нейронов, особенно на неадекватные и слабые воздействия. В учебниках нейрофизиологии подчёркивается преобладание количества клеток нейроглии (в 10 раз больше, чем нейронов), которые окружают нервную клетку. Их функция и особенность не оставляют сомнения в их несомненной роли в работе нейрона. Хорошо известны функции нейроглии, такие как опорная, трофическая и участие в интегративной деятельности мозга. Глиальная ткань вместе с сосудами и мозговыми оболочками образует строму – опорную структуру для клеток ткани мозга. Глиальные клетки с кровеносными сосудами – обеспечивают метаболизм нейронов; в глиоцитах сосредоточен весь гликоген ЦНС. Блокада антиглиальным гамма глобулином изменяет электрическую активность нейронов. Среди особенностей функциональной активности глиальных клеток отмечают: чувствительность к ионным изменениям среды, высокую активность калий – натриевой АТФ-азы. и проницаемости для ионов калия; на раздражение отвечает только медленной деполяризацией не более 10 мВ.

Детальный анализ возможных первичных механизмов биологического действия ЭМП не является предметом исследований в настоящей работе, поэтому приводится только упоминание о некоторых (наиболее часто цитируемых в литературе) сведениях по этому вопросу. Все эти данные свидетельствуют о вероятности существования механизмов, способных вызвать раздражение биологической ткани путем воздействия ПМП и ЭМП.

РАЗДЕЛ 2.

От нейрона – к отделу головного мозга (суммарная биоэлектрическая активность)

2.1 Возможный нейрофизиологический механизм передачи информации от нейрона к отделу мозга

Анализ суммарной биоэлектрической активности мозга (ЭЭГ) в условиях слабых ЭМВ различных параметров свидетельствует о наиболее частом проявлении синхронизирующего влияния фактора[3,41]. Сопоставление характера ЭЭГ-изменений на ЭМИ с нейрофизиологическими представлениями об их генезе позволяет предполагать важную роль синхронизации биоэлектрических процессов в мозге в формировании ответной реакции. Эта гипотеза обсуждалась в работах М.Н. Ливанова [1], Ю.А. Холодова [2];С.Н. Лукьяновой [41], Р.А. Чиженковой [7]; W.K.Adey [27] и др. Наиболее часто отмечаемой формой ЭЭГ-изменений на ЭМВ является увеличение: числа '"веретен", медленных волн, амплитуды колебаний. Им соответствуют понятия – синхронизация, дезактивация, в отличие от активации и десинхронизации. Последние, напротив, сопровождаются увеличением частоты и уменьшением амплитуды ЭЭГ-колебаний. Изменения первого типа Ю.А. Холодов и А.С. Пресман назвали основной, ведущей формой ответа, которая отмечается в широком диапазоне несущих частот ЭМИ и интервале интенсивностей. Эта реакция характерна для случаев облучения головы животного, тогда как воздействие на боковую поверхность тела, периферические нервы, дорзальную поверхность тела[2] приводило к изменениям противоположного типа. Существует зависимость проявления синхронизирующего влияния ЭМП от ППЭ [41]. В условиях непрерывного режима генерации и острого облучения (1 мин-24 ч) основная форма ЭЭГ-изменений доминировала при самых низких ППЭ (10-100 мкВт/см²), а также в интервале от 2 мВт/см² до 50 мВт/см². Увеличение ППЭ (100 мВт/см:2÷100 Вт/см²) за короткий период облучения (до 10 мин) приводило к развитию судорожной активности. ЭЭГ-изменения противоположного генеза (десинхронизация – уменьшение амплитуды и увеличение частоты колебаний) наблюдали в интервале ППЭ от 0.2 до 2.8 мВт/см² при экспозиции 10-20 мин. Это волнообразное изменение реакции при возрастании интенсивности ЭМП (по всей видимости) отражает универсальное свойство ответа на усиливающееся воздействие: подпороговые изменения, адаптационно-приспособительные явления и патологические сдвиги.

Усиление биологической значимости ЭМП-воздействия путем использования амплитудной модуляции либо хронического режима облучения приводило к более выраженному (за исключением единичных случаев) доминированию основной реакции при различных ППЭ (10. 50. 500 мкВт/см²; 1-10 мВт/см²). В условиях импульсного режима генерации (по сравнению с непрерывным) описаны случаи развития эпилептоидной активности при меньших ППЭ (25 мВт/см²). О синхронизирующем влиянии ЭМИ на биоэлектрические процессы головного мозга свидетельствуют и единичные сообщения об усилении ритмов ЭЭГ, соответствующих частоте амплитудной модуляции. Способствует усилению основной реакции и изменение свойств биообъекта путем дополнительного введения определенной функциональной либо фармакологической нагрузки[2,3,41]. В условиях перерезки на уровне среднего мозга (препарат "serveau isole"),а также на фоне кофеина Ю.А. Холодов [2] описал развитие судорожной активности при 10 мВт/см².

Анализ данных литературы о генезе описанных форм изменений ЭЭГ позволил увидеть сходство в проявлении "веретен", медленных волн; факта увеличения амплитуды колебаний и развития судорожной активности. Объединяющий момент – усиление генерализации синхронных биоэлектрических процессов. Его различная степень и пространственная организация отражаются в различных формах ЭЭГ. Явление генерализации синхронных биоэлектрических процессов в мозге лежит в основе различных проявлений его нормальной и патологической деятельности. В случае нормы – это всегда строго организованный процесс (по характеру, стойкости и картине распределения в мозге), его нарушение приводит к развитию патологии, форма которой коррелирует со степенью изменения нормальной генерализации синхронных процессов в мозге. В норме синхронная работа отдельных нервных элементов ткани мозга участвует в формировании ЭЭГ [42]. Большая амплитуда волн ЭЭГ отражает больший процент синхронно разряжающихся нейронов. Экспериментально показано, что веретенообразное колебание в ЭЭГ (9-13 Гц) – это постепенный перелив: увеличение-уменьшение числа синхронно работающих нейронов неспецифических ядер таламуса [43]. Генез высокоамплитудных медленных волн связан с большим числом синхронно разряжающихся нейронов, чем генез веретенообразных колебаний [44]. В отличие от описанных колебаний, формирование низкоамплитудной и высокочастотной активности – результат десинхронизации в работе отдельных нервных элементов [42]. Переход от веретенообразных и высокоамплитудных колебаний к картине судорожной активности связан с усилением генерализации синхронного процесса в мозге, который из локального (местного) переходит в пространственно-организованный.

Термин "пространственная синхронизация биопотенциалов" введен М.Н. Ливановым [1]. Данное явление получило широкое признание ученых как адекватный метод оценки функционального состояния ЦНС животных и человека. В исследованиях клиницистов однозначно показано чрезмерное (выходящее за пределы нормы) усиление пространственной синхронизации биопотенциалов мозга в случае развития эпилепсии [1, 45-48]. В учебнике "Нервные болезни" [Михеев, Мельничук. 1981] отмечено: "Отличительной особенностью нейронов в эпилептогенном очаге является их склонность к синхронизации". Природа дальнейшей эпилептизации мозга – усиление пространственной генерализации синхронных процессов. Патогенетические механизмы развития эпилепсии совершенно идентичны вне зависимости от того, какой порог судорожной готовности или какой внешний фактор ее спровоцировал. Это заключение обосновано анализом деятельности отдельных нейронов, различных образований мозга и клинических наблюдений в условиях соответствующей патологии. Клиницисты, параллельно анализируя изменения в ЭЭГ и структуре двигательно-судорожной реакции, отмечают отражение степени генерализации синхронных биоэлектрических процессов мозга в моторном отклике. Клинические наблюдения поддерживают гипотезу о единстве некоторых моментов в генезе "веретен", медленных волн высокой амплитуды и патологической активности эпилептоидного типа. В этих работах не раз отмечалось, что "дремотное" состояние человека (в ЭЭГ – "веретена" и медленные волны) наиболее благоприятно для проявления приступа эпилепсии [47]. Согласуется с этим представлением и отмеченный в ряде работ факт, что проявлению судорожной активности способствует ослабление активирующего действия ретикулярной формации. Работы Н.П. Бехтеревой и сотрудников свидетельствуют о возможной смене высокоамплитудных медленных волн в ЭЭГ судорожной активности у больных эпилепсией.

Внутрицентральные взаимоотношения при формировании эпилепсии более детально представлены в экспериментах на животных. Так, подробный анализ автокорреляционных функций и спектральных плотностей ЭЭГ различных структур головного мозга (кора, медиальное и вентральное ядра таламуса, задний и передний гипоталамус, ретикулярная формация среднего мозга и моста, хвостатое ядро, скорлупа, бледный шар, миндалина, гиппокамп) в процессе развития эпилепсии у собак представили А.И. Зальцман и др. [49]. Авторы четко показали последовательность усиления генерализации синхронных процессов: сначала в мезоэнцефальных структурах, затем в дистантно расположенных областях. В результате, как пишут авторы, мозг работает в едином регулярном синхронном ритме как "недифференцированная" система, интегрированная на "низком" уровне.

О роли процессов синхронизации в реакциях мозга на ЭМВ могут свидетельствовать и некоторые общие моменты в нейрофизиологических механизмах эпилептизации нейронов в очаге и влияния ЭМИ на ткань мозга. И в том, и в другом случаях важное значение придается ионам Ca2+ и кооперативным процессам [27, 50 и др.]. Фундаментальные исследования очага предполагают возникновение пароксизмального сдвига деполяризационного (ПДС) либо гиперполяризационного характера. Наиболее изученным является ПДС как следствие альтерации электрически возбудимой мембраны. В анализе причин альтерации электрогенной мембраны важная роль отводится ионам Ca2+ [45-48]. Они поддерживают необходимую (рабочую) конформацию ионопереносящих каналов мембраны. Целенаправленные исследования на нейронных препаратах подтвердили гипотезу о том, что ПДС приводит к изменению градиента потенциала во внешней среде, что "чувствует" соседний нейрон, отвечая синхронным разрядом. Так, на системе двух нейронов рецептора растяжения ракообразных в условиях стрихнина, В.Л. Эзрохи и В.С. Русинов (1967, 1970) наблюдали синхронную работу нервных клеток, доказав, что причина синхронизации – влияние электрического поля, создаваемого высокоамплитудным изменением мембранного потенциала.

Факторами, благоприятствующими влиянию электрического поля нейронов друг на друга, являются тесное прилегание и одинаково ориентированное архитектурное расположение. В работах Г. Петше (1977г) и Я. Буреша (1977г) особая роль в генерации судорожной активности в ЭЭГ отводится апикальным дендритам коры. Благодаря тесной оппозиции дендритов внутри одного пучка и недостатка нейроглии между ними, взаимные электрические влияния процессов в отдельных дендритах очень вероятны. При этом пучки функционируют как единый электрический проводник. Эфаптический путь передачи информации в мозге свойственен не только нейронам, но и образованиям. Вопрос о том, какой из двух основных нервных процессов (возбуждение или торможение) является ведущим в развитии судорожной активности, различными авторами решается неоднозначно. Подавляющее большинство из них в пароксизмальном сдвиге видят деполяризационные изменения. Эпизоды гиперполяризации сменяют их, а также имеются в зоне, окружающей фокус эпилептической активности, ограничивая его. Однако, по мнению В.Г. Скребицкого, одним из факторов генеза эпилептической активности является усиление генерализации тормозных процессов. Активность типа petit mal подавлялась на фоне arousal. Такого же мнения придерживаются и Р.И. Кругликов, М.С. Мыслободский, В.Л. Эзрохи [51], развивая центрастеническую гипотезу эпилептогенеза в

отличие от цэнтрэнцефалической и рассматривая в основе сенсорный "голод". Перечисленные работы заставляют осторожно относиться к господствующему положению о развитии судорожной реакции как усилению генерализации исключительно возбудительных процессов. В сравнительном исследовании пространственной синхронизации биопотенциалов при патологии возбуждения либо торможения отмечено только усиление генерализации соответствующего процесса [45]. Характер генерализации (основа, степень и форма) определяют картину патологии.

Таким образом, фундаментальные исследования развития судорожной активности дают представление о её генезе на различных уровнях: от мембраны до организма. При этом определенная роль отводится ионам Са:+ и эфаптическому взаимодействию нервных элементов. Именно эти два показателя обеспечивают кооперативную синхронную реакцию, которая может быть причиной эпилептогенеза, основанного на сенсорном "голоде" [51]. Они описаны в литературе и как этапы формирования реакции ЦНС на ЭМИ, подчеркивая его неспецифическое синхронизирующее влияние. В учебниках и фундаментальных трудах показано, что основной неспецифический механизм формирования судорожной активности – усиление генерализации синхронных биоэлектрических процессов в мозге. Он справедлив для животных и человека и не зависит от провоцирующего фактора. ЭМП (в этом случае) не составляет исключения, как показывают собственные исследования и сопоставление характера данных ЭЭГ-изменений с нейрофизиологическими представлениями об их генезе [41].

2.2 Наличие, феноменология и латентные периоды реакций мозга на ЭМП по ЭЭГ показателю

Этот раздел касается изучения реакции мозга по анализу суммарной биоэлектрической активности отделов коры и подкорки. Это были те же отделы, что и в случае исследования активности нейронов. Сопоставление реакций нейронов и отделов даёт представление об отражении ответа нервной клетки в суммарной биоэлектрической активности, а также – о важной дополнительной информации фундаментального характера. Параллельная запись биопотенциалов нейрона и ЭЭГ (рис.13) показывает, как изменяется суммарная активность при основной реакции нейрона – уменьшение частоты импульсов в период экспозиции. Важно отметить, что эта запись сделана путём использования одного и того же микроэлектрода, т.е. с одной и той же области мозга. Передача информации параллельно к усилителям по постоянному и переменному току позволяет наблюдать такую картину. Она приведена на рисунке

13, где хорошо заметно, что уменьшению числа импульсных разрядов нейрона при экспозиции ЭМП в ЭЭГ соответствует усиление колебаний в альфа диапазоне. Именно такие ответы нейрона и суммарной биоэлектрической активности отдела мозга были наиболее характерны для слабых магнитных и электромагнитных воздействий. Обращали на это внимание и другие авторы, анализируя изменения в ЭЭГ на постоянные магнитные и электромагнитные поля, что нашло отражение в трудах Ю.А. Холодова и его учеников. Однако при снятии ЭЭГ в большинстве случаев использовали металлические электроды, что сохраняло вопрос, является ли этот ответ реакцией на изучаемые поля? Применение в наших работах неметаллических электродов и физиологический раствор в качестве проводника, в большой степени снимало этот вопрос.

Описываемая корреляция изменений в импульсной и суммарной биоэлектрической активности мозга не является удивительной. Хорошо известно, что только нейроны «говорят» о том, какой из двух нервных процессов активируется в результате того или иного воздействия. Степень активации может быть различна, что отражается в суммарной активности и одним из частных видов является соответствие – снижение частоты импульсов регулярной активности нейрона и усиление в ЭЭГ частот альфа диапазона. Именно этот диапазон является доминирующим в ЭЭГ спокойного бодрствования с закрытыми глазами. Состояние покоя с открытыми глазами характеризуется снижением амплитуды колебаний этого диапазона. Как правило, это колебание амплитуд наиболее выражено в ЭЭГ затылочных отведений, связанных со зрительной функцией. Именно от этой области отводили (рис.13) импульсную и суммарную активность, что в большей степени позволяло увидеть указанное соответствие.

В других областях, как известно, альфа диапазон выражен слабее и, соответственно, реакция тоже несколько снижена. Тем ни менее, основная реакция на слабые воздействия ПМП и ЭМП заключалась в усилении альфа диапазона суммарной биоэлектрической активности мозга. Многочисленные собственные эксперименты на кроликах с анализом ЭЭГ изменений на слабые ЭМП различных параметров подтверждали данное заключение (таблица7).

Таблица 7 Параметры ЭМП, используемые в экспериментах на кроликах

№ п/п	несущая частота ГГц	Режим облучения	характеристика импульса			ППЭ средняя мкВт/см²	экспозиция, мин
			частота Гц	длит-ть мс	ППЭ мкВт/см²		
1	1	Непрерывны (НР)				200	по 5, 3раза
2	1.5	НР				300	5
3	6	НР				30÷400	по 5, 6 раз
4	10	НР				150 , 200	по 15
5	1	импульсный (ИР)	60	8	200	96	15
6	6	меандр (РМ)	50	10	400	200	5
7	10	РМ	1	500	300	150	По 5, 3 раза
8	10	РМ	10	50	300	150	по5, 3 раза
9	10	РМ	100	5	300	150	по5, 3 раза
10	1.5	ИР	0.12	16	300	0.58	15
11	1.5	ИР	1000	0.4	300	120	15
12	1	РМ	10	50	200	100	15

Как следует из таблицы, серии различались режимом, ППЭ в импульсе и в среднем (≤ 400 мкВт/см²,), экспозицией (непрерывно или дробно, в сумме не превышая 30мин). Тем ни менее, во всех представленных сериях основная феноменология реакции сводилась к усилению альфа диапазона, что чаще проявлялось в первые минуты после воздействия (рис.14). Именно такая феноменология ответа подчёркивает преимущественно подпороговый характер биологической значимости воздействия[20].

При анализе реакции по показателю ЭЭГ более чётко можно было определить её латентный период. Важно отметить, что латентные периоды реакций на экспозицию ЭМП (рис.15) и в первые минуты после выключения (рис.16) по доминирующим характеристикам (10÷40с) совпадают. Этот факт только подтверждает, что ответ после выключения не является следствием выключения фактора (off-эффект) или последействием. Это отражение кумуляции эффектов на появление и исчезновение стимула, что характерно для подпороговых воздействий.

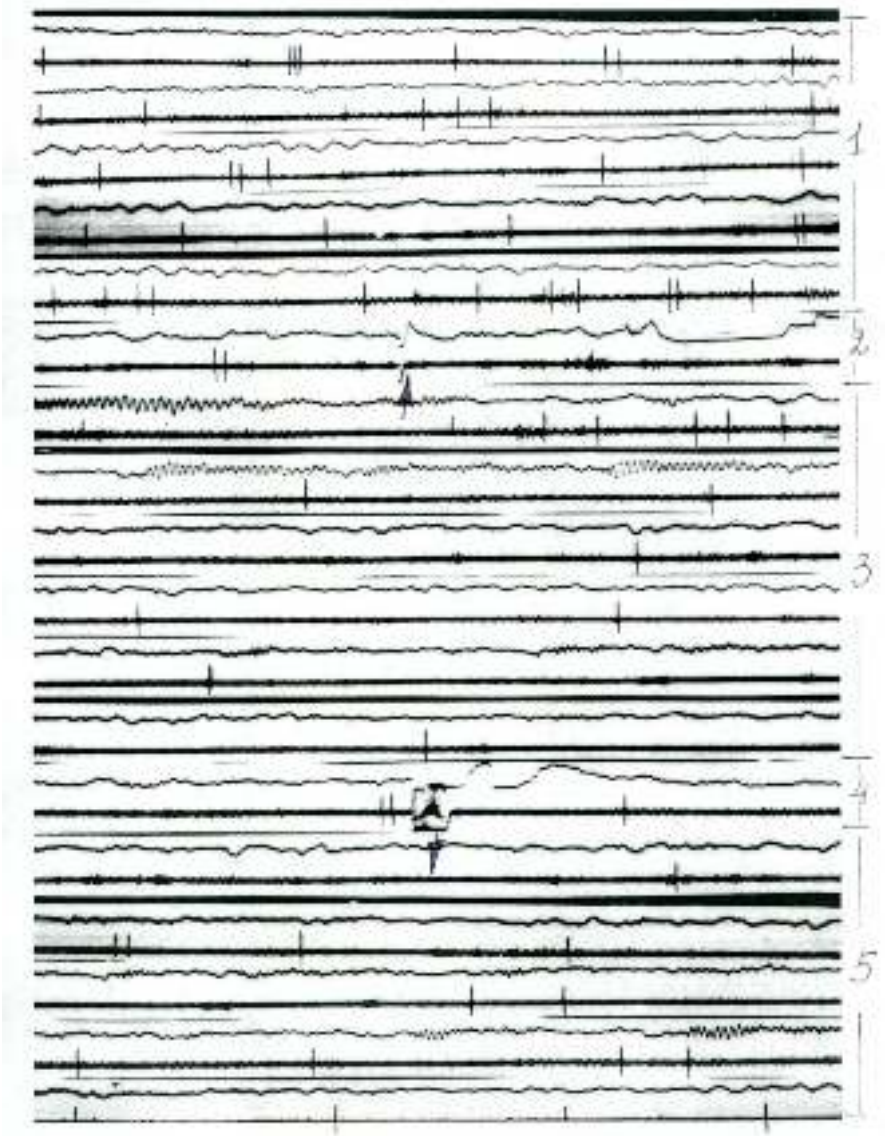


Рис.13 Пример отражения реакции торможения импульсной активности нейрона в увеличении числа колебаний альфа диапазона в ЭЭГ при экспозиции слабого ЭМП.

Примечание: 1 – фон; 2- момент включения (↑); 3 –период действия; 4 – момент выключения(↓); 5 – период последействия, скорость записи 10 см/с Приведена импульсная и медленная активность, записанная с одного и того же микроэлектрода, калибровка: 0.5 см по вертикали – 250 mkV, 0.5 см по горизонтали – 0.1s

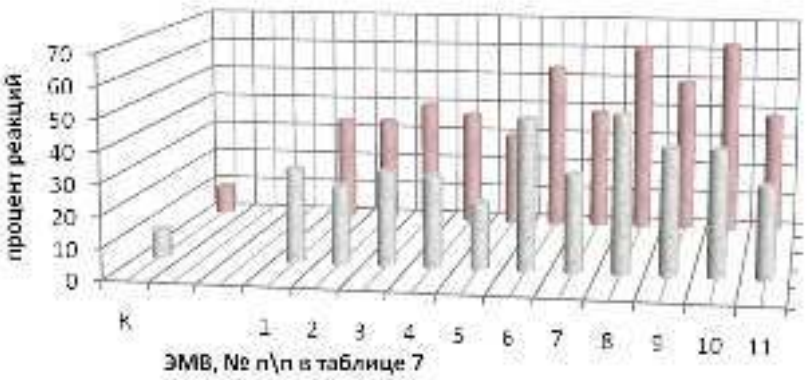


Рис 14 Сравнительная характеристика процента реакций при экспозиции и в первую минуту после выключения ЭМП различных режимов в экспериментах на кроликах.

Примечание: К –средние значения по 5 контрольным исследованиям; в каждой серии – 10<n<20; передние столбики – % реакций в период экспозиции, задние – в первые минуты после.

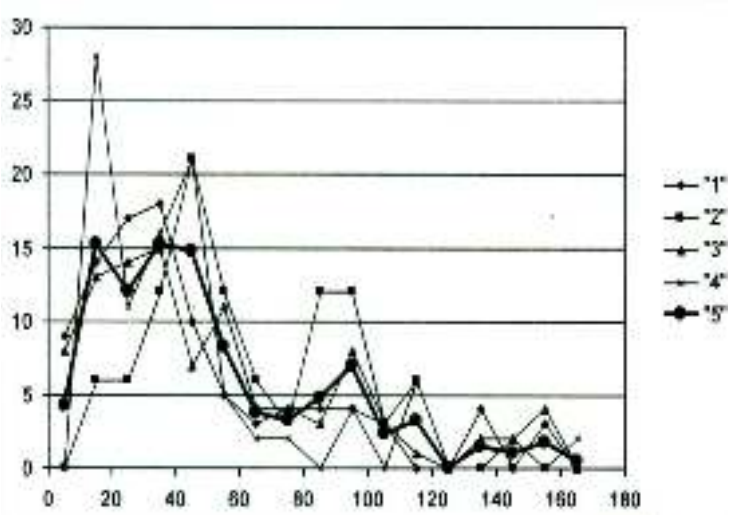


Рис. 15 Кривые распределения латентных периодов ЭЭГ-изменений в зрительной области коры головного мозга кролика в период экспозиции ЭМП различных режимов.

Примечание: по оси абсцисс – время в секундах, по оси ординат – процент реакций, 1 и 2 – непрерывный режим ЭМП 1ГГц и 10 ГГц, соответственно, с ППЭ 200 мкВт/см^2; 3, 4 – те же ЭМП в режиме, модулированном меандром 50 Гц с ППЭ в импульсе 200мкВт/см^2 у кроликов в условиях интактного мозга и препарата «cerveau isole», соответственно; в каждой серии п> 10; 5 – усредненная кривая по всем результатам.

При экспозиции и сразу после выключения поля реакции реализовались в первую минуту (в основном, 10-40с). Исключение составил препарат мозга «cerveau isole» , который характеризовался перерезкой по нервным связям на уровне среднего мозга между буграми четверохолмия. Это- пример неполноценного функционирования мозга, который характеризуется ослаблением афферентных влияний, препятствующих проявлению реакции на слабые воздействия, повышая при этом чувствительность нервной ткани. В таких условиях реакции возникали с меньшим латентным периодом (в основном,10с) и в большем проценте случаев.

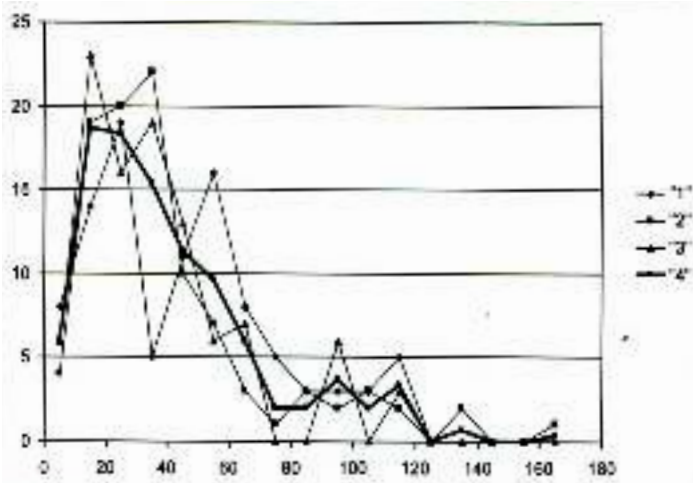


Рис. 16. Кривые распределения латентных периодов реакций, наблюдаемых в первые минуты после выключения ЭМП.

Примечание: по оси абсцисс – время в секундах, по оси ординат – процент реакций, 1 и 2 – непрерывный режим ЭМП 1 ГГц и 10 ГГц с ППЭ 200 мкВт/см^2 , соответственно; 3 – то же ЭМП в режиме, модулированном меандром 50 Гц с ППЭ в импульсе 200 мкВт/см^2 4 – усредненная кривая по всем представленным результатам; в каждой серии п>20.

В отличие от нейронов, по показателю суммарной биоэлектрической активности мозга, можно было наблюдать динамику изменений при более длительной экспозиции ЭМП (на повторные воздействия) и возможность сохранения реакций через 20-30 мин. На рис. 17 приведён пример ЭЭГ изменений на повторные 5мин ЭМП воздействия, предъявляемые с меняющимися интервалами 5÷15 минут. Такая дробная экспозиция могла способствовать кумуляции эффектов. При первых 5 мин облучениях отличные от фона изменения наблюдали только у отдельных кроликов. Статистически значимый результат по их группе (п-10) наблюдали на 5-6 применение ЭМП, и он носил

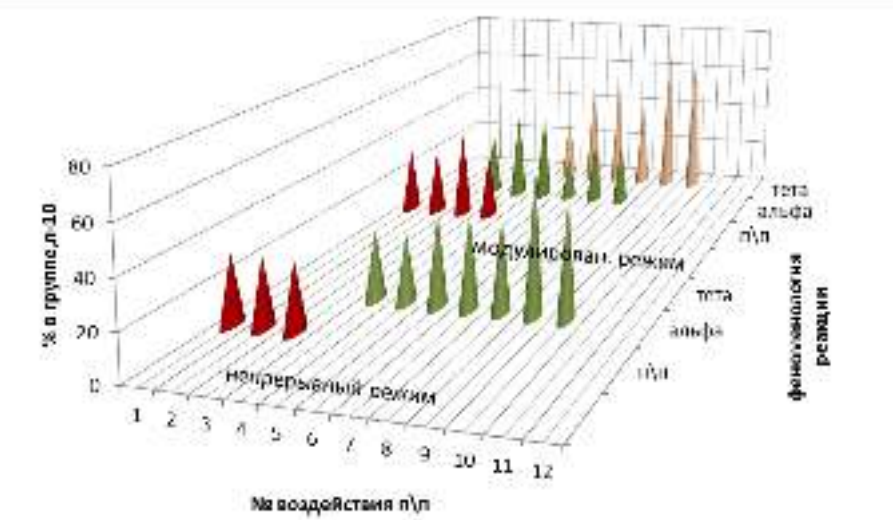


Рис. 17. Сравнительная характеристика феноменологии ЭЭГ изменений на повторные 5 мин ЭМВ 10 ГГц в непрерывном и модулированном режимах

Примечание: непрерывный режим: 1 ГГц ЭМП, ППЭ 200 мкВт/см^2 – на фоне физиологической нормы и «безартефактных» электродов; модулированный режим: 1 ГГц ЭМП, меандр 100 Гц, ППЭ в импульсе 200 мкВт/см^2; п/п – реакция только после ↓ поля; альфа, тэта – реакция в виде усиления этих диапазонов ЭЭГ диапазона, соответственно.

характер ответа как на вышеописанное подпороговое воздействие. Ответ в виде усиления альфа диапазона ЭЭГ наблюдали, главным образом, в первую минуту после экспозиции. Дальнейшее применение коротких облучений могло привести к повышению биологической значимости отклика, что более ярко проявлялось в случае модулированного режима облучения. При этом характер ЭЭГ изменений сводился к усилению тэта диапазона, соответствуя данным литературы о феноменологии адаптационной реакции как на раздражитель средней силы. Повторные короткие воздействия могли привести к сохранению вызванных реакций через 20-30 мин после облучения (табл.8).

№ группы кр	Режим 1 Гц ЭМП с ППЭ — 300 мкВт/см² (и ПР и по импульсу)	Кол-во кроликов	Средний процент реакций в период 5 мин воздействия ЭМП за сеанс	Процент кроликов с сохранением изменений через 20 - 30 мин после сеанса облучения
1	непрерывный	10	33±1,4 *	20
2	модул 1 Гц	10	48±0,7 *	30
3	модул 7 Гц	10	11±0,7	20
4	модул 10 Гц	10	40±1,2 *	30
5	модул 100 Гц	11	51±0,9 *	64 ■
6	контроль	14	12±0,4	14,3

Таблица 8. Количественная характеристика ЭЭГ изменений за сеанс повторных экспозиций ЭМП различных режимов.

Примечание: Сеанс облучения- 8-10 воздействий по 5 мин с интервалами 5-15 мин. За реакцию принимали достоверные изменения ЭЭГ в период 5 мин облучения по сравнению с предшествующим фоном; * – P< 0,05 по сравнению с контролем, ■– P< 0,05 в сравнении со всеми остальными сериями по критерию Стьюдента.

2. 3 Сложная зависимость проявления реакции отдела мозга на ЭМВ от фона (исходные значения спектра, типологические особенности альфа диапазона, корреляционные отношения между ЭЭГ дистанционных отделов)

Как и в случае нейронов, реакции отделов мозга зависели от исходных фоновых характеристик. Прежде всего, это спектр частот в конкретно анализируемой области. Этот показатель тесно связан с типологическими особенностями ЭЭГ объекта, а также – пространственной организацией биопотенциалов. Как было отмечено выше, реакция на слабое ЭМВ в большинстве случаев сводилась к усилению альфа-диапазона ЭЭГ. Этот вывод послужил основанием для оценки проявления изучаемой реакции в зависимости от типологических особенностей альфа диапазона. Такое исследование было проведено с участием испытателей – добровольцев при изучении биоэффектов стандарта сотовой связи GSM-900 (ППЭ на уровне головы не превышала 80мкВт/см²). В таблице 9 представлена выраженность альфа диапазона ЭЭГ в фоне и процент реакций на ЭМИ.

Тип * ЭЭГ (группы)	Характеристика альфа-диапазона (8,1 — 13 Гц)						Кол-во испытателей с таким типом ЭЭГ	% реакций на ЭМИ
	% в спектре		Диапазон частот, Гц		Амплитуды, мкВ			
	ОГ	ЗГ	ОГ	ЗГ	min	max		
I	30,5	34,1	9,5 - 11,4	8,7 - 12,3	13	63	9	55,6
II	26,0	31,0	10,1 - 10,4	9,1 - 11,3	16	51	6	100,0
III	18,9	27,0	10,7 - 10,9	10,3 - 12,0	13	43	8	75,0
IV	17,6	21,8	9,0	9,3 - 10,6	10	30	6	0

Таблица 9 Соотношение типологических особенностей альфа диапазона ЭЭГ человека и процента реакций на слабое ЭМИ

Примечание: О Г – открытые глаза; З Г – закрытые глаза. Общее количество испытателей – 29. Проценты в спектре и амплитуды приведены в виде средних значений по группе, разброс данных в каждом конкретном случае не превышает сотых долей единицы, на этом основании, группы по этим показателям между собой достоверно различаются при $p<0,05$ по χ^2

Как следует из таблицы 9, наибольший процент реакций на ЭМИ отмечен у групп (II, III) с умеренно выраженным альфа диапазоном, который легко возникает и заметно различается при открытых и закрытых глазах. Группа1 с ярко выраженным альфа диапазоном реагирует на данное ЭМИ в меньшем проценте случаев, тогда как у группы IV данные частоты плохо выражены в фоне и реакция на облучение отсутствует. Важно отметить, что у данной группы испытателей в ЭЭГ доминировал тэта диапазон, что могло быть защитой от слабого стимула.

Мозг, как известно, не работает одной точкой (областью). Многочисленные связи между ними определяют функциональное состояние коры, подкорковых структур и мозга в целом. Работы М.Н. Ливанова[1] и его учеников обосновали важную роль пространственной организации биопотенциалов в фоне, как фактора, оказывающего существенное влияние на реакции мозга на стимулы различной модальности. Наиболее яркие различия имеют место между передними и задними отделами коры головного мозга, что может меняться под влиянием различных воздействий и находить отражение в состоянии ЦНС. В экспериментах на кроликах показана подобная зависимость эффектов и на слабое ЭМВ при оценке значений коэффициента кросскорреляции (КК) между ЭЭГ дистанционных отделов головного мозга (таблице 10).

Таблица 10 Зависимость эффекта ЭМВ от исходного фона по оценке КК между ЭЭГ фронтальных и затылочных областей коры головного мозга кролика

Число 10-минутных отрезков: 5 мин-фон +5 мин воздействие		Мода в кривой распределения КК за 5 мин				
ЭМП	ложно	Фон КК	ЭМП КК	% случаев реакции на ЭМП	Контроль (ложно) КК	% изменений в контроле
30	30	0,2-0,4	0,6-0,7	46,7*	0.4-0,5	3,3
30	30	0,5-0,6	0,2-0,3	73,3**	0,5-0,6	0
30	30	0,7-0,9	0,5-0,6	13,3	0,6-0,7	6,6

Примечание: *, ** – $p<0,05$; 0,01 по χ^2 относительно контроля, соответственно; эпоха анализа КК – 4 с.

Учитывая полученные результаты, был проведён управляемый эксперимент с включением поля на фоне эффективных и неэффективных значений КК, что показало выраженную разницу в результатах (рис. 18).

Рис. 18. Результат управляемого эксперимента с ЭМВ на фоне эффективных и неэффективных значений КК между ЭЭГ передних и задних отделов мозга.

Примечание: каждому кролику было предъявлено в рандомизированном порядке по семь 5-минутных облучений на фоне «эффективных» и «неэффективных» значений КК, согласно таблицы 10.

На фоне КК 0.7–0.9 средний результат по группе кроликов составил 16,3 ± 0.89 %, тогда как на фоне КК 0.5–0.6 – 70.4±0.77%, свидетельствуя об их статистически значимом различии (P<0.01 по χ^2).

Внутрицентральные взаимоотношения, конечно, связаны с функциональным состоянием различных отделов головного мозга, что может влиять на их реактивность. Как и в случае нейронов, суммарная биоэлектрическая активность различных отделов мозга по-разному изменяется на слабое ЭМВ. Анализ спектральных характеристик ЭЭГ различных областей коры головного мозга кролика выделяет теменные и затылочной области коры правого полушария как наиболее реактивные (таблица 11).

Таблица 11. Сравнительная характеристика спектров ЭЭГ различных областей коры мозга кролика в сериях с истинным и ложным воздействием ЭМП

Серия	диапазоны ЭЭГ	процентное содержание диапазонов ЭЭГ в областях:							
		слева		справа		слева		справа	
		слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
ЭМП-	δ	26	22	20	16	14	17	30	20
	Θ	20	20	40	45	30	38	40	30
	α	21	19	17	19	19	41*	19	30*
	β^1	31	30	22	32	30	40*	11	14*
	B^2	4	6	5	3	4	7	7	7
	Г	5	5	3	4	3	5	5	4
контроль (ложное облучение)	δ	27	21	19	18	17	20	25	30
	Θ	22	24	38	46	39	42	45	35
	a	16	20	13	10	12	16	11	10
	β^1	25	23	20	21	22	19	9	7
	β^2	7	7	6	3	5	6	5	10
	γ	3	5	4	2	5	7	5	8

Примечание: * – p<0,05 по x^2 относительно контроля. В таблице приведены средние спектральные оценки по группе из 10 кроликов при истинном и ложном МКВ-облучениях.

Данные таблицы 11 свидетельствуют о наибольших изменениях в теменных и затылочных областях правого полушария. Именно в этих областях имеется большая склонность к проявлению реакций синхронизированного типа. Сюда приходят веретёнообразные колебания в альфа и бета 1 диапазонах ЭЭГ, которым в наибольшей степени свойственны ответы с эмоциональной окраской. Этот вывод находит поддержку в работе Takashima et al. [37], которые пишут о наибольшей реактивности темен-

но-затылочной области справа к низкоинтенсивным МКВ-облучениям. Изменения в теменных и затылочных областях, хотя и были статистически значимы (по группе животных) относительно соответствующего контроля, но не сопровождались изменениями пространственной организации биопотенциалов, что оценивали по анализу КК. Это предполагало подпороговый для ЦНС (в данном конкретном случае) характер воздействия. Записывая параллельно суммарную биоэлектрическую активность от различных отделов коры и подкорковых структур, можно было наблюдать их различную реактивность (таблица12).

Таблица 12. Сравнительная характеристика реактивности отделов коры и подкорки на ЭМП 1 ГГц различных режимов и экспозиций по анализу суммарной биоэлектрической активности

Отделы мозга	Прочность реакций на ЭМП в режиме:					Ложное облучение (контроль)
	непрерывный, ППЭ 200 мкВт/см², длительность экспозиции 5 мин на фоне:			импульсно-модулированный (частота повторения импульсов 60 Гц. длительность импульса 8 мс, ППЭ 200 мкВт/см²), длительность экспозиции:		
	спонтанной активности	кофеина	адреналина	2 раза по 5 мин	10 раз* по 5 мин, интервалы 5÷15 мин	
Cort s-m	40*	92**	48*	36*	36*	12
Cort vis.	48*	64**	52*	40	20	12
Hippocamp	20	48*	32	12	68**	20
Thalami	48*	40*	36*	32	12	12
Hipothalami	52**	44*	72**	44	20	16
R. F.	8	20	88**	8	12	8

Примечание: приведены проценты, только статистически значимых ($p<0,05$) относительно исходного фона (прочность реакции) изменений. В каждом случае оценивали основные изменения в спектрах электрограмм (по 25 записям). *, ** – статистически значимо относительно контроля по критерию x^2 при $p< 0,05$, $p<0.001$, соответственно.

Это различие целиком соответствовало данным, описанным выше при анализе реакций нейронов, т.е. и по ЭЭГ показателю в условиях интактного мозга наиболее реактивными образованиями были гипоталамус и кора, а наименее – ретикулярная формация и гиппокамп.

Введения кофеина или адреналина, влияя на исходное состояние отделов мозга, соответствующим образом изменяло их реактивность на ЭМВ, что можно было наблюдать и при применении импульсного режима и дробной экспозиции (таблица 12). Эти результаты ещё раз подчёркива-

ют важную роль исходного функционального состояния отделов мозга относительно их ответов на слабое ЭМВ, что в совокупности формирует внутрицентральные взаимоотношения. Сходные результаты по ЭЭГ показателю были отмечены и в экспериментах с ПМП (таблица 13).

Таблица 13. Сравнительная характеристика ЭЭГ-изменений в сенсомоторной области коры головного мозга кролика на ПМП в условиях интактного мозга и препарата «cerveau isole»

Особенность эксперимента		Количество		Характеристика реакции			
		кроликов	1-3 мин воздействий	количество «веретён» альфа диапазона		прочность, %%	мода в кривой распределения латентных периодов
				в фоне	при воздействии		
интактный мозг	ПМП	12	100	2.7±0.5	5.7±0.8 * •	53±1.4	25с и 60с.
	ложное облуч.	5	240	3.1 ±0.6	2.9±0.3	4.1	нет
Cerveau isole	ПМП	11	209	8 3±0.4 #	10.1±0.1 * •	68.9±0.8	5с. #
	ложное облуч.	6	73	7.9±0.6 #	8.1±0 1	10.9	нет

Примечание: *,•, #, – достоверно относительно исходного фона, ложного облучения, интактного мозга, соответственно, по критерию Стьюдента при P< 0.05

Сравнение реакций интактного мозга и препарата «cerveau isole» подтверждает зависимость ответа от исходного функционального состояния. Данный препарат увеличивает содержание веретён альфа диапазона в ЭЭГ, что способствует уменьшению латентного периода и повышению прочности реакции на ПМП по сравнению с интактным мозгом.

2. 4 Влияние параметров ЭМП на проявление реакции

Зависимость от ППЭ и режима облучения

Анализ суммарной биоэлектрической активности позволил получить дополнительные данные и относительно зависимости проявления реакций на ЭМП от ППЭ и режима облучения. В данном экспериментальном исследовании нашло поддержку существующее в литературе мнение об отсутствии прямой пропорциональной зависимости биоэффектов низкоинтенсивных МКВ от плотности потока энергии. В работе представлен анализ электроэнцефалограмм различных областей коры головного мозга кролика на 6 ГГц МКВ-облучение с ППЭ 30÷400 мкВт/см².

В литературе неоднократно описан факт отсутствия прямой пропорциональной зависимости биоэффектов микроволн от плотности потока энергии в диапазоне низких значений, главным образом, менее 1 мВт/см² [2, 3]. Особый интерес представляют работы Adey[27], который предполагает возможность существования так называемых "энергетических" окон. Последнее определяется как свойствами биологической ткани, анализируемой реакцией, так и комплексом биотропных параметров воздействия. Детальное изучение этого вопроса требует накопления экспериментальных данных, к которому можно отнести и это конкретное исследование.

Эксперименты выполнены на взрослых кроликах породы Шин-шилла, у которых записывали ЭЭГ различных областей коры головного мозга. Как и в остальных наших исследованиях, электродами и отводящими проводами служили хлорвиниловые трубки, заполненные физиологическим раствором на основе агар-агара в консистенции геля. Воздействию ЭМП 6 ГГц в непрерывном режиме подвергали преимущественно голову животного. В случайном порядке (с интервалами 10 ÷ 20 мин) предъявляли 5-минутные облучения с различными значениями ППЭ (таблица 14).

Таблица 14. Зависимость ЭЭГ-изменений в теменной области правого полушария коры головного мозга кролика от ППЭ

ППЭ, мкВт/см²	Показатели реакции		
	Прочность, %	Интенсивность, %	Мода в распределении латентных периодов, с
30	50	90	20
70	90*	162*	10*
100	50	58	25
140	50	90	20
180	80*	210*	10*
200	40	100	15
280	80*	192*	10*
350	40	120	20
400	30	60	20

Примечания: Прочность реакции – процентное отношение числа случаев реакции к общему количеству предъявлений ЭМП (10). Интенсивность реакции – превышение выраженности альфа диапазона при воздействии относительно фона в процентах (100% – фон) *–$p<0,05$ по χ^2 по сравнению с показателями при других значений ППЭ.

Как показано в таблице, зависимость не была прямо пропорциональной. Все три анализируемых показателя реакции (прочность, интенсивность, мода в распределении латентных периодов) выделяют величи-

ны 70, 180, 280 мкВт/см² как наиболее оптимальные значения ППЭ для проявления изучаемой реакции. Хотелось бы отметить, что остальные ППЭ достоверно менее эффективны и приводят к сходным (между собой) результатам. Конечно, важно понимать, что выделенные значения справедливы только для конкретных условий ЭМВ.

Приведенные материалы только поддерживают мнение об отсутствии прямой пропорциональной зависимости биоэффектов МКВ от ППЭ в диапазоне менее 1 мВт/см². На основании данных литературы можно предположить, что это справедливо для сверхмалых доз воздействий любой этиологии [52]. Вопрос о том, являются ли выявленные нами оптимальные значения ППЭ энергетическими "окнами" по Adey[27], требует дальнейшего изучения.

В суммарной биоэлектрической активности наиболее значимые результаты получены при анализе зависимости от режима облучения. Усложнение режима (импульсный, пачечно-импульсный) и увеличение однократной экспозиции до 30мин могло усилить биологическую значимость воздействия до раздражителя средней силы. ЭЭГ ответ носил иной характер – усиление не альфа, а, главным образом, тэта диапазона.

В специально проведённой серии на 30 кроликах сравнивали биоэффекты импульсных и пачечно-импульсных электромагнитных воздействий с различными параметрами, которые имеют место в условиях современного производства. Во всех сериях ЭМП характеризовалось: 1.5 ГГц, ППЭ в импульсе – 300 мкВт/см², экспозиция -30мин. Серии различались режимом облучения и характеристикой импульсов. Импульсные режимы первых двух серий, соответственно, имели длительность и частоту повторения импульсов: 16 мс,0.12 Гц и 0.4 мс, 1000 Гц. Третья серия – пачечно-импульсный режим, который объединял эти показатели – частота повторения пачек – 0.12 Гц, частота импульсов – 1000 Гц. Полученные результаты свидетельствуют о возможности проявления статистически значимых изменений в биоэлектрической активности структур головного мозга при всех трех режимах, примерно, в равной степени и не позволяет разделить их по эффективности.

Во всех сериях с облучением изменения определялись исходным фоном, не выходили за пределы нормального функционирования и касались, главным образом, тэта-диапазона. Точно такие же модификации исходного фона могли иметь место и в контроле с ложным включением ЭМП, но в значительно меньшем проценте случаев. По этому показателю статистически значимое различие между контролем и облучением отмечено только для гиппокампов. В других структурах наблюдали соответствующее отклонение от фона в единичных случаях, как в контроле, так и в сериях с облучением. Зависимость качества реакции от

исходного фона носило корригирующий характер, впервые описанный Ю. А. Холодовым [2] на низкоинтенсивные электромагнитные поля. На фоне высокой выраженности тэта-активности ЭМП снижали ее либо не изменяли. На фоне низкой выраженности тэта-активности реакция заключалась в статистически значимом усилении этого диапазона, что сопровождалось увеличением энергии и соседних диапазонов в спектре. Однако их усиление было менее интенсивным.

Усредненные результаты спектральных оценок с исходно низкими и исходно высокими энергетическими характеристиками основных диапазонов (на примере гиппокампа) в различных сериях представлены на рисунке 19. Как следует из рисунка, низкий уровень тэта диапазона ЭЭГ в фоне был более благоприятным для проявления реакции. Она сводилась к статистически значимым усилениям (относительно фона) характеристик дельта, тэта и альфа диапазонов, с наибольшей выраженностью в серии В1. При исходно высоких значениях спектральных характеристик, реакции на облучение сводились к снижению показателей только тэта-диапазона в сериях В1 и В3.

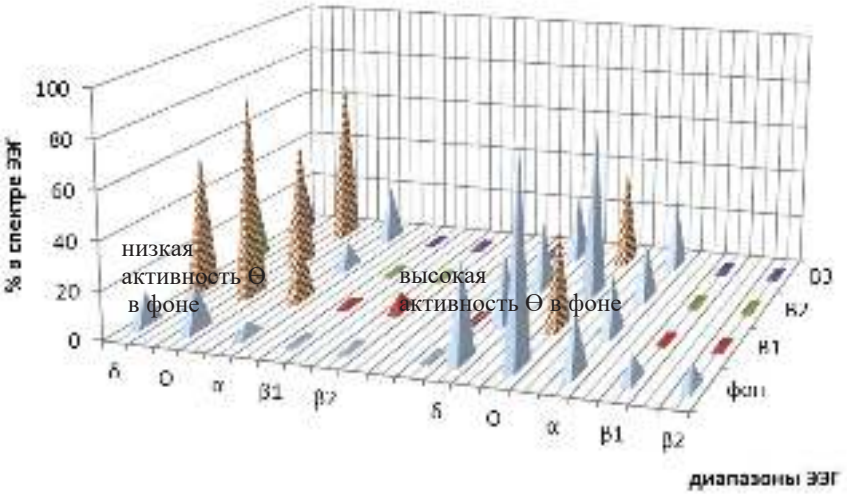


Рис. 19 Сравнительная характеристика спектров гиппокампа в результате 30 мин СВЧ облучений различных режимов на фоне низкой и высокой тэта-активности.

Примечание: приведены средние значения показателей; ошибки к средним: при низком фоне <3%, при высоком фоне < 8%; выделенные штриховкой треугольники – статистически достоверные отличия от фона при P<0.05 по критерию Стьюдента. В1, В2 серии с ЭМП различных импульсных режимов, В3-ЭМП пачечно-импульсного режима, что выше описано.

На рис. 20 – пример такой реакции в виде оригинальной записи Берг Фурье в динамике эксперимента (эпоха анализа – 40 с). На приведённом рисунке хорошо заметно изменение спектральной характеристики в виде постепенного усиления тэта диапазонов в гиппокампах слева и справа в период 30 мин экспозиции ЭМП. В ряде случаев в гиппокампе справа реакция начиналась раньше, чем в гиппокампе слева. Латентные периоды изменений реализовались, главным образом, в первую минуту облучения. Они сохранялись, а иногда и усиливались в течение регистрируемых 30 мин после облучения.

Изменение энергии тэта-диапазона у кроликов широко описано в отечественной и зарубежной литературе как ЭЭГ-корреляты эмоциональных и поведенческих проявлений, различных форм памяти. Совокупность результатов: статистически значимые (по группе кроликов) изменения только в гиппокампах, их характер – модификация тэта-активности в пределах нормы и зависимость качества реакции от исходного фона позволяет предположить подпороговый характер действия ЭМП на ЦНС (как систему). Тем не менее, хорошо известна способность тэта-ритмов распространятся из гиппокампа на другие структуры мозга и синхронизировать их деятельность. Это возможно при усилении энергии этого диапазона в гиппокампе, что может быть следствием повышения биологической значимости действующего фактора. Одним из известных неспецифических путей такого повышения значимости слабого раздражителя является путь его повторных предъявлений. На этом основании можно предполагать, что хроническое облучение с теми же параметрами может привести к изменениям, более значимым, не только для ЦНС, но и организма.

Возможность навязывания частоты амплитудной модуляции ЭМП ритмам ЭЭГ

Отдельного внимания заслуживает изучение вопроса о возможности усиления ритмов ЭЭГ, соответствующих частоте модуляции ЭМП. Такое явление изучено и описано в литературе для известных раздражителей ЦНС (свет, звук, эл. ток). Имеет ли оно место в случае слабых электромагнитных воздействий? Ответ на этот вопрос был получен в специально проведённой серии экспериментов, которая представляет сравнительную оценку эффективности ЭМП(1ГГц, ППЭимп.200мкВт/см^2), модулированных различными способами в диапазоне ритмов ЭЭГ. В экспериментах на кроликах и исследованиях с участием испытателей-добровольцев изучали эффективность различных режимов модуляции: меандр; обратная связь от волн ЭЭГ объектов, непосредственно

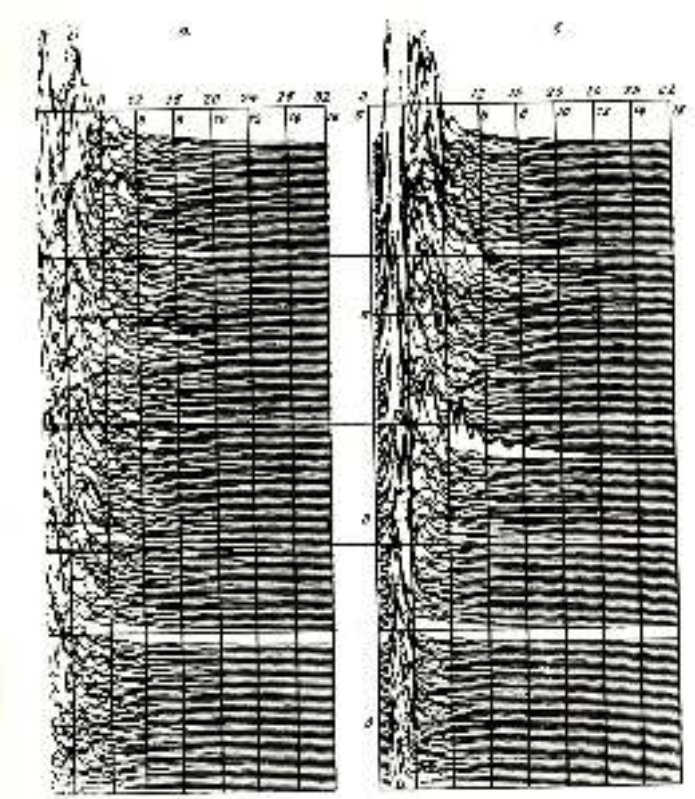


Рис. 20. Пример динамики спектров ЭЭГ гиппокампов в процессе эксперимента с ЭМП-облучением в серии В1.

Примечание: а — гиппокамп слева, б— гиппокамп справа; представлена динамика спектров за 30-мин периоды фона, действия и последействия МКВ; эпоха анализа — 40 с диапазона δ, Θ, α – диапазоны ЭЭГ, соответственно, первая, вторая, третья полосы спектрального анализа.

подвергаемого воздействию (синхронно) или другого (используя запись ЭЭГ, несинхронно); перебор частот (свипирование) в пределах избранного диапазона. В результате обосновано, что в основе усиления мощности ЭЭГ диапазона, соответствующего частоте модуляции ЭМП, лежит механизм навязывания ритмов, как и в случае известных стимулов (свет, звук и др.). В отличие от указанных раздражителей, ЭМП может быстрее и более интенсивно привести к желаемому результату. Наиболее эффективными были способы модуляции в виде синхронной обратной связи от волн ЭЭГ и режим свипирования частот в пределах избранного диапазона. Эксперименты на кроликах и исследования с участием испытателей-добровольцев показали однозначные результаты.

Источником СВЧ ЭМП 1 ГГц служил отечественный генератор Г4-121 (Россия). Облучение осуществляли в специально оборудованной камере [3], подвергая воздействию, главным образом, голову объекта, которая находилась в дальней зоне поля антенны, т.е. в области сформированной плоской электромагнитной волны. На уровне головы ППЭ никогда не превышала 200 мквт/см2 ни в среднем, ни в импульсе. Обратную связь от волн различных диапазонов ЭЭГ осуществляли в полном соответствии с подобными методами, описанными в работах М.Н. Ливанова [1] и Н.П. Бехтеревой [44]. Исключением был только сигнал – импульс СВЧ. Он подавался в падающий фронт волны избранного диапазона частот и по длительности составлял 20 мс, что позволяло ему не выходить за пределы волны в каждом из анализируемых частотных диапазонов ЭЭГ. Имеющаяся программа анализа спектров ЭЭГ позволяла выделить из суммарного ЭЭГ-сигнала любой частотный диапазон, а синхронизатор – обеспечить попадание СВЧ-импульса в падающий фронт волны избранного диапазона.

Способ модуляции ЭМП в режиме синхронной обратной связи от волн ЭЭГ (облучаемого объекта) был наиболее эффективным. В данном случае даже на одно короткое действие ЭМП (2-5мин) и при их повторении можно наблюдать провокацию (усиление) избранного диапазона частот как визуально, так и при спектральной оценке (рис.21, рис. 22).

Многочисленные эксперименты на кроликах с обратной связью от волн различных частотных диапазонов ЭЭГ (дельта, тэта, альфа) непосредственно облучаемого объекта (соответственно, серии – δсинх., tсинх., αсинх.) статистически обосновали этот результат. Величина усиления диапазона, соответствующего модуляции, составляла 15–30%, что статистически значимо относительно фона, но не выходит за пределы нормальных характеристик ЭЭГ. При оценке по группе исследований такой эффект наблюдали в 60–80% случаев ($p< 0.05$ по $\chi 2$, относительно контроля)

Хорошо известно, что на вспышки света или щелчки звука, предъявляемые с конкретной частотой, не все животные или люди реагируют, а если и отвечают, то не однозначно. На этом основании является очевидной слабая эффективность режимов “1 Гц меандр”, «несинхронная обратная связь» и большая эффективность режима плавного перебора частот (свипирование) в избранном диапазоне ЭЭГ.

Эта совокупность исследований обосновывает вывод о том, что набор и строгую последовательность частот в том или ином диапазоне ЭЭГ, свойственную одному объекту, другому “не навяжешь”. В этом случае режим модуляции в виде плавного перебора частот (свипирования) в избранном диапазоне ЭЭГ является более перспективным.

Подтверждение этому было получено в исследованиях с участием добровольцев, которым в качестве функциональной пробы предъявляли

вспышки света или щелчки звука в условиях фиксированной частоты или их перебора в избранном диапазоне. И в этом случае большее количество испытателей отвечало на свет или звук в условиях перебора частот в том или ином диапазоне ЭЭГ, а не на фиксированные частоты, т.к. каждый мог выбрать своё. Эти данные свидетельствовали о неспецифическом характере данного явления, которое свойственно не только свету и звуку, но и электромагнитному воздействию.

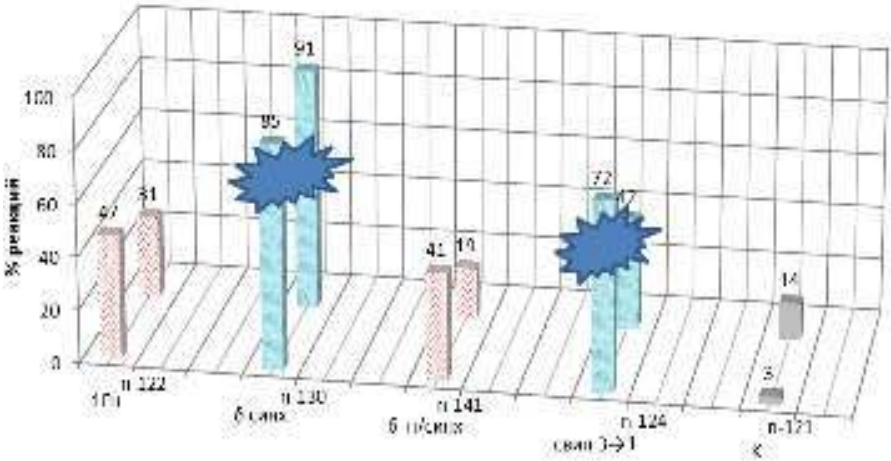


Рис. 21. Сравнительная характеристика эффективности различных способов амплитудной модуляции ЭМП ритмами дельта диапазона ЭЭГ

Примечание: реакция – статистически значимое усиление диапазона, соответствующее частоте модуляции, при воздействии относительно фона по критерию Стьюдента; отмеченные данные достоверно отличаются от контроля(красный цвет) и всех остальных вариантов (синий цвет) при $P<0.05$; п – количество 2÷5мин воздействий

Однократная 5мин экспозиция ЭМП в режиме синхронной обратной связи от волн различных диапазонов ЭЭГ чётко показывает усиление избранного диапазона именно в той области, от которой велась обратная связь (Рис.22).

Повторение 5мин воздействий ЭМП в режиме синхронной обратной связи от волн тэта диапазона по сравнению со вспышками света 4Гц, используемых как функциональная проба, показало большую эффективность первого (Рис. 23). Вполне вероятно, что эта большая эффективность ЭМП в данном эксперименте связана с отличной, относительно света, биологической значимостью в результате наличия и характера модуляции.

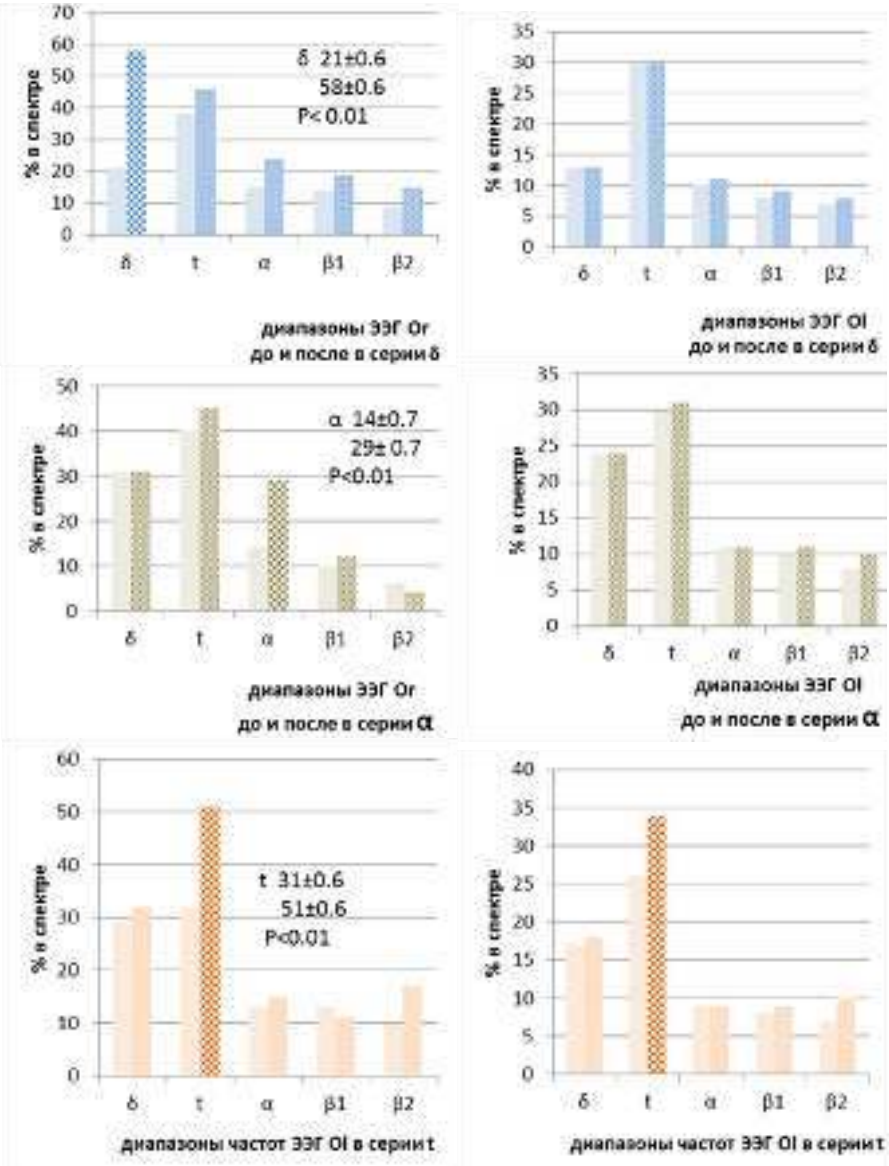


Рис. 22. Сравнительная характеристика спектров ЭЭГ затылочных областей правого и левого полушарий мозга кролика в период 5мин экспозиции ЭМП в режиме синхронной обратной связи от волн различных диапазонов ЭЭГ правого полушария – Or.

Примечание: отмеченные штриховкой столбики –P<0.05 относительно фона по критерию Стьюдента.

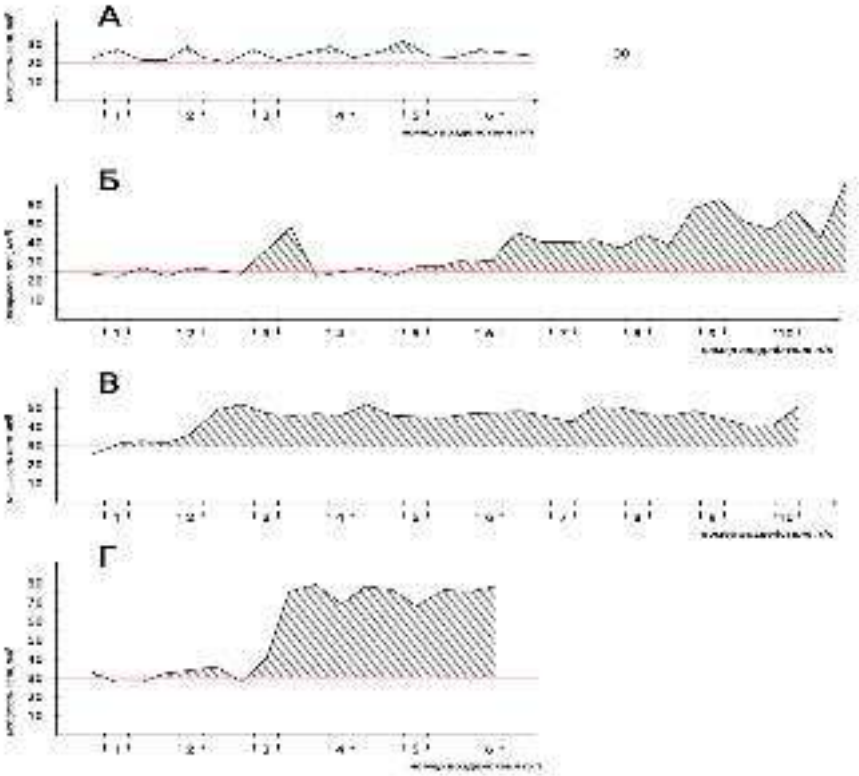


Рис. 23 Сравнительная характеристика динамики содержания тэта диапазона в спектре ЭЭГ Or при воздействии вспышками света (4 Гц – А) или СВЧ ЭМП в режиме «tсинх.» (Б,В,Г) у кроликов.

Примечание: А, Б – один и тот же кролик; Б,В,Г – различные кролики

Как и в случае экспериментов на кроликах, процент реакций (статистически достоверных изменений относительно фона) в исследованиях с участием испытателей в сериях с синхронной обратной связью и режимом свипирования был значительно выше ($p < 0.05$ по χ^2) относительно серий с несинхронной обратной связью и контролем с ложным включением поля (Рис.24). Важно отметить, что феноменология реакций в обоих случаях была однозначной и сводилась к усилению избранных диапазонов ЭЭГ. Тем не менее, у кроликов в большем проценте случаев отмечали усиление тэта – диапазона, а у испытателей – альфа-диапазона, что может быть связано с видовыми особенностями биообъектов [22].

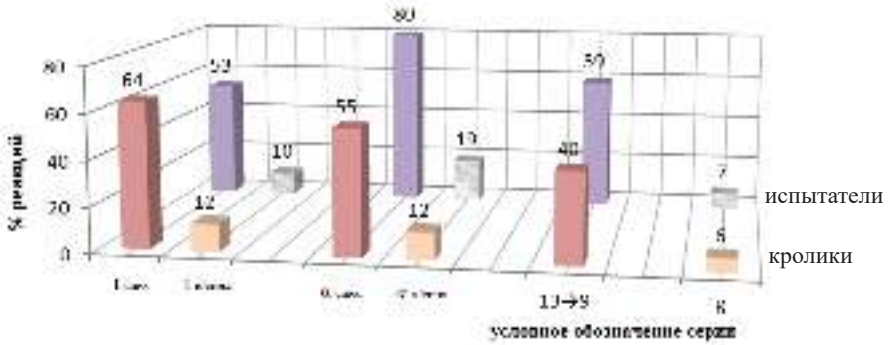


Рис. 24. Сравнительная характеристика процента реакций, соответствующих частоте модуляции ЭМП в исследованиях на кроликах и с участием испытателей – добровольцев

Примечание: более интенсивным цветом выделены статистически значимые отличия по группе исследований ($P<0.05$ по χ^2) от контроля и не синхронных воздействий;

Усиление эффекта за счёт увеличения количества несущих частот

Развитие вопроса о синхронизирующем влиянии слабого электромагнитного воздействия нашло своё отражение в исследованиях с двумя и тремя несущими в СВЧ диапазоне. Этот аспект исследования имеет непосредственное отношение к актуальной проблеме – изучение наличия, феноменологии и нейрофизиологических механизмов биоэффектов слабых ЭМП, формируемых различным количеством несущих частот. С соответствующей электромагнитной обстановкой, создаваемой в быту и на производстве, мы имеем дело в реальной жизни, что требует изучения и нормативно-гигиенической оценки. Нет сомнения в том, что ЭМП можно рассматривать как неспецифический раздражитель для центральной нервной системы, который в своём влиянии на организм, подчиняется фундаментальным законам физиологии [1,2,3]. На этом основании, усиление биологической значимости ЭМП можно наблюдать как при усложнении параметров одного фактора, так и при их комплексном воздействии, что не является простым и однозначным, требуя изучения каждого конкретного случая. Одним из неспецифических механизмов повышения функциональной активности мозга является усиление генерализации синхронных биоэлектрических процессов, что было описано выше, в разделе о механизме распространения информации между нейронами, к отделам мозга и (далее) между ними. Этот механизм может быть эффективным и при использовании нескольких одноимённых раздражителей, в том числе и ЭМП.

К изучению данного вопроса были проведены эксперименты на 11 здоровых кроликах (2,5 ÷ 3 кг) породы Шиншилла и исследования с участием 14 испытателей – добровольцев (практически здоровые мужчины в возрасте 40÷50лет, сотрудники нашего центра). Один объект мог принимать участие в различных сериях с интервалом 1 день ÷ 1 неделя. Все эксперименты и исследования проводили в идентичных условиях, используя эквивалентные частотно – амплитудные характеристики ЭМП. Серии различались количеством одновременно действующих несущих частот из области СВЧ (0,9 ГГц, 1,1 ГГц и 1,4 ГГЦ), которые имели единую модуляцию в диапазоне ритмов ЭЭГ и ППЭ в суммарном импульсе – 300 мкВт/см². Облучению подвергали, главным образом, голову объекта. Источниками служили отдельные прецизионные отечественные генераторы частот в пределах 1 ГГц ÷ 2 ГГц. Облучение проводили в безэховой камере при температуре воздуха 21-23оС, в зоне сформированной волны ЭМП (2,5 – 3,5 м от рупора антенны), в изодозном поле (±10%) при вертикальной ориентации Е вектора. ППЭ в зоне облучения контролировали с помощью измерителя уровня ЭМП ПЗ-9. Были проведены серии с облучением отдельно каждой из трёх указанных несущих частот, с различными комбинациями из двух и одновременно с тремя несущими. Это сравнение биоэффектов 1÷3 несущих частот проводили в условиях единой амплитудной модуляции в режиме плавного перехода частот от высокого значения к низкому за 0.5 мин в том или ином диапазоне ритмов ЭЭГ. Сравнивали биоэффекты излучений, модулированных частотами в дельта (3→1), тэта (8→4) или альфа (13→9) диапазонах ЭЭГ. Они различались значениями ППЭ в среднем (табл.15).

Таблица 15. Сравнительная характеристика импульсов и ППЭ в среднем в сериях с ЭМП, модулированными частотами различных диапазонов ЭЭГ

диапазон ЭЭГ «условное обозначе-н. серии»	характеристика СВЧ-импульса				средняя ППЭ,
	длит-сть, мс	скваж-ность	частота, Гц	ппэ, мкВт/см²	
Дельта « 3→1»	20	0,02-0,06	1÷3	300	4 ÷12
Тэта « 8→4»	20	0,08-0,16	4 ÷8	300	16 ÷32
Альфа « 13→9»	20	0,18-0,26	9 ÷13	300	36 ÷52

Экспозиция сводилась к сеансу облучения, т.е. 3÷5 мин воздействиям, предъявляемым 10 раз с меняющимися интервалами 3÷15 мин. Серии с облучениями сопровождал контроль, который был их полной копи-

ей, за исключением включения поля. Реакцию организма оценивали по комплексу показателей, характеризующих функциональное состояние различных систем: ЭЭГ, частота пульса (ЧП), частота дыхания (ЧД), мышечный тонус (ЭМГ) – у кроликов; дополнительно, у испытателей – артериальное давление (АД), температура кожных покровов (t0), реоэнцефалограмма.

Проведённые исследования показали отсутствие каких-либо реакций, выходящих за пределы колебаний физиологической нормы во всех изучаемых сериях. Однако увеличение количества одновременно используемых электромагнитных частот от одной к трём статистически достоверно усиливало эффект. Эти данные представлены в таблицах 16-18. Как и в ранее описанных сериях с одной несущей частотой, модулированный режим был более эффективным, чем непрерывный (таблица 16).

Таблица 16. Сравнительная характеристика процента реакций в сериях с непрерывным и модулированным режимами СВЧ ЭМП 1 ГГц

Серия	объект, количество	реакции по показателям, %				
		ЭЭГ EEG		частота пульса (ЧП)	частота дыхания (ЧД)	ЭМГ
		Спектр	КК Ol-Fl			
непрерывный режим	кролики, 11	30	10	0	0	10
	испытатели, 10	35	20	20	0	10
режим модуляции («3→1»)	кролики, 10	42 *	10	0	0	15
	испытатели, 12	40 *	20	20	0	15
контроль (К)	кролики,11	16		9	9	9
	испытатели, 12	14		16	0	6

Примечание: за реакцию принимали статистически достоверные различия показателя за сеанс облучения (10 по 3-5мин воздействий) по сравнению с фоном; * – $P<0.05$ по $\chi 2$ относительно контроля. КК Ol-Fl -коэффициент кросскорреляции между ЭЭГ затылочной и лобной областей слева.

За сеанс облучения СВЧ ЭМП 1 ГГц в модулированном режиме «3→1» в 40-42% случаев наблюдали статистически значимые изменения по сравнению с контролем и непрерывным режимом. Это имело место, как в экспериментах на кроликах, так и в исследованиях с участием добровольцев, и заключалось в усилении альфа диапазона в спектре ЭЭГ. Это та же самая реакция, которая неоднократно описана нами [3] и находит отражение в литературе как основная при действии слабых электромагнитных воздействий. Похожие результата были получены и в сериях с другими по значению (но близкими) несущими частотами, модулированными в том же дельта диапазоне ЭЭГ (табл.17).

Таблица 17. Сравнительная характеристика эффектов СВЧ несущих 0,9 ГГц, 1,1ГГц и 1,4 ГГц с едиными характеристиками ППЭ в импульсе и режимом модуляции

серия «3→1» несущая частота	объект, количество	Реакции по показателям, %				
		ЭЭГ		ЧП	ЧД	ЭМГ
		Спектр	КК Ol-Fl			
0,9ГГц	кролики, 11	27	9	18	9	9
	испытатели, 13	23	15	23	0	8
1,1ГГц	кролики, 11	30	12	9	8	9
	испытатели, 13	30	18	21	0	8
1,4ГГц	кролики, 11	41 *	10	0	0	10
	испытатели, 13	50 *	20	20	0	10
Контроль	кролики, 11	18	9	9	9	9
	испытатели, 13	21	14	21	0	7

Примечание : то же, что и к таблице 16

Совокупность данных таблиц 16 и 17 представляет неоднозначность эффектов различных несущих, хотя они и близки по своим частотным характеристикам. 1 ГГц и 1,4 ГГц (в отличие от 0,9 ГГц и 1,1 ГГц) приводили к статистически достоверным изменениям по группе исследований, относительно соответствующего контроля. Феноменология реакции, как и в предыдущей серии, сводилась только к усилению альфа диапазона в спектре ЭЭГ. При этом сходство процессов в передних и задних отделах коры (оценивали по значению коэффициентов кросскорреляции между ЭЭГOl и ЭЭГ Fl) не изменялось. Использование этих частот в комбинации из двух при их одновременной экспозиции с модуляцией в режиме «3→1», сохраняя ППЭ в суммарном импульсе 300 мкВт/см², усилило эффект (таблицач 18)

Таблица 18. Сравнительная характеристика процента реакций за сеанс облучения в сериях с двумя несущими частотами, модулированными в режиме « 3→1»

серия «3→1», две несущие	объект, количество	Реакции по показателям, %				
		ЭЭГ		ЧП	ЧД	ЭМГ
		Спектр	КК Ol-Fl			
0,9 + 1,1 ГГц	кролики, 10	48 *	21*	21	17	19
	испытатели, 14	51*	36 *	39 *	15	30 *
0,9 + 1,4 ГГц	кролики, 10	62 *	26 *	22	10	35 *
	испытатели,14	60 *	23 *	40 *	16	24
1,1 +1,4 ГГц	кролики, 10	87 **	87 **	44 **	36 *	30 *
	испытатели, 14	100 **	100 **	55 **	53 **	36 *
контроль	кролики, 10	8	8	15	15	15
	испытатели, 14	13	7	12	12	14

Примечание : то же, что и к таблице 16 ; ** при P<0.01 по $\chi 2$, относительно контроля и других показателей ; * при P< 0.05 ; цветом выделено наиболее эффективное воздействие

Как показано в таблице 18, реакция по ЭЭГ показателю существенно возрастает, выражаясь в усилении, не только альфа частот в спектрах отдельных отведений, но и сходства этих изменений в передних и задних отделах мозга. Очень важным является выход реакции за пределы ЦНС, что находит отражение в других показателях (ЧП, ЧД, ЭМГ). Однако не при всех комбинациях этот комплекс наблюдается и наибольшим процентом изменений в ЦНС и реакцией по комплексу показателей выделяется сочетание 1,1ГГц +1,4ГГц. Реакция организма на действие одновременно трёх рассматриваемых СВЧ несущих ещё больше усилило ответную реакцию, что отразилось по всем показателям, особенно ЭМГ (таблица 19).

Таблица 19. Сравнительная характеристика реакций кроликов и испытателей в серии с тремя СВЧ несущими с одинаковой модуляцией в режиме «3→1»

серия «3→1», три несущие	объект, количество	Реакции по показателям, %				
		ЭЭГ		ЧП	ЧД	ЭМГ
		Спектр	КК Ol-Fl			
0,9 ГГц + 1,1 ГГц + 1,4 ГГц	кролики, 11	87 *	87 *	64 *	57 *	92 *
	испытатели, 14	100 *	100 *	85 *	62 *	76*
контроль	кролики, 11	17	8	9	11	7
	испытатели, 14	16	11	9	7	10

Примечание: то же, что и к таблице 16

Более наглядно сравнение биоэффектов одной, двух и трёх СВЧ несущих представлено на рисунке ниже (в разделе 3), где заметно возрастание реакций ЦНС и их отражение в других показателях.

Все вышеприведённые результаты были получены в условиях амплитудной модуляции в режиме «3→1», который в наших предыдущих исследованиях [53] показал себя как наиболее эффективный по сравнению с меандром или фиксированной частотой из данного диапазона ЭЭГ. Сравнение режима « 3→1» с модуляциями в диапазоне альфа (13 Гц→ 9 Гц) или тэта (8 Гц→ 4Гц) показало зависимость реакции от частоты модуляции (таблица 20).

Таблица 20 Реакция испытателей по комплексу физиологических показателей за сеанс облучения в серии «1.1 ГГц + 1.4 ГГц» в условиях модуляции частотами различных диапазонов ЭЭГ

Серия (количество испытателей)	реакций по показателям, %						
	ЭЭГ EEG ↑α	КК Fl-Ol ↓	ЧП ↓	t0 кожных покровов ↓	АД ↓	РЭГ индекс ↓	по комплексу
2δ (13)	100 *	100*	55*	84,6*	61,5*	84*	61,5*
2α (13)	84,6*	84, *	69,2*	69,2*	46,1*	69*	46,1*
2Θ (12)	33,3	33,3	50*	16,6	25	50*	16,6
К (14) С	20	13,3	13,3	20	23,0	16,7	13,3

Примечание: 2δ, 2α, 2Θ – условное обозначение серий с модуляциями в пределах дельта (3→1), альфа (13→9) и тэта (8→4) частот ЭЭГ. * P< 0.05 относительно контроля – К.
Цветом выделены наиболее интенсивные воздействия.

Существующие обзоры литературы о биоэффектах ЭМП описывают, главным образом, результаты облучения одной несущей частотой[2, 3, 41, 54] . Единичные работы представляют данные двух и более частот [54-56], подчёркивая зависимость реакций организма от комплекса параметров сложноорганизованного ЭМВ. В реальной жизни именно комбинированное воздействие нескольких несущих частот формирует ЭМИ, которое оказывает влияние на жизнедеятельность живых организмов. Изучение его эффективности – одна из актуальных задач современной гигиенической практики, которая находится на стадии накопления материалов исследований. Настоящая работа представляет вариант усиления биологической значимости эффекта ЭМП при увеличении количества одновременно действующих источников. Одна несущая частота, близкая к 1ГГц (0,9 ГГц; 1,1 ГГц; 1,4 ГГц) при однократном 3-5мин воздействии или при их повторении могла вызывать (заслуживающие внимания) реакции только в биоэлектрической

активности головного мозга. При этом было важным наличие модуляции и конкретное значение несущей частоты. Как и по данным литературы [2,3], основная реакция сводилась к усилению альфа диапазона ЭЭГ, что является отражением синхронной работы близко расположенных нервных элементов [39,47]. Однако пространственная организация биопотенциалов, оцениваемая по КК Ol-Fl, сохранялась на прежнем уровне и отсутствовали реакции по другим показателям. Использование одновременно двух несущих частот в любых комбинациях из трёх при сохранении энергетических (ППЭ в суммарном импульсе 300 мкВт/см²) и модуляционных характеристик (режим «3→1») усиливало эффект. Реакция сводилась не только к усилению альфа диапазона ЭЭГ, но и повышению сходства процессов в дистанционно расположенных (передних и задних) областях мозга. Это явление представляет собой дальнейшее усиление синхронных процессов в мозге и может служить основой откликов и в частоте пульса, дыхания и ЭМГ [1]. По показателям ЧП и ЧД реакция сводилась только к их замедлению, что не выходило за пределы физиологической нормы. Не изменялась при этом и двигательная активность, но в ЭМГ можно было наблюдать «всплески» усиления мышечного тонуса. Степень выраженности этих изменений зависела от комбинации несущих частот, представляя 1,1 ГГц + 1,4 ГГц как наиболее эффективный вариант. Важную роль играла и частота модуляции. Описанный эффект наблюдали при модуляции в режиме частот дельта и альфа диапазонов, тогда как, в случае тэта, он отсутствовал. Этот вывод требует уточнения, т. к. в таблице 20 приведён % реакций в воде усиления только альфа диапазона ЭЭГ, тогда как мог усиливаться и тэта, что и могло служить отражением в показателях ЧП и РЭГ. Как описано выше, данный режим модуляции может быть эффективным даже при одной несущей частоте, но в условиях синхронной обратной связи, т.е. усложнении режима. Важно также отметить, что волны тэта диапазона имеют меньшую амплитуду, чем альфа или дельта, делая менее наглядной реализацию механизма «захват частоты».

При трёх несущих частотах с единой модуляцией в режиме «3→1» при сохранении в суммарном импульсе 300мкВт/см² отмечено дальнейшее усиление реакции организма. В данном случае феноменология реакции по ЭЭГ показателю сводилась не только к усилению альфа, но и дельта диапазонов. Статистически достоверно изменяются и все остальные показатели, что в процентном отношении сравнимо с серией 1,1 ГГц +1,4 ГГц, за исключением ЭМГ. Совокупность изменений показателей различных систем организма при трёх несущих может быть отражением дальнейшего усиления синхронных процессов в мозге. Не смотря на

усиление реакций организма в сериях с двумя и тремя несущими, выхода за пределы физиологической нормы не наблюдалось ни по одному из показателей. Однако сам факт усиления синхронных процессов в мозге и его генерализация с отражением в деятельности других систем организма, несомненно, заслуживают самостоятельного внимания как основа к возможному нарушению в жизнедеятельности организма. Ряд работ в этом плане было выполнено сотрудниками Института медицинской радиологии [54 -58]. Авторы описывают возможность отрицательного влияния на поведение и реактивность ЦНС крыс в результате воздействия одновременно нескольких источников слабых ЭМП радиочастотного диапазона. Экспериментально показано, что расширение спектрального диапазона за счёт увеличения числа несущих при равных прочих условиях усиливало отрицательный эффект воздействия. Авторы предполагают, что, вполне вероятно, такое воздействие (по сравнению с моно воздействием) вовлекает в ответную реакцию большее количество точек организма, усиливая эффект.

Важным в проведённом исследовании является сходство реакций, наблюдаемых у кроликов и испытателей, при облучении (преимущественно головы) одними и теми же слабыми ЭМП. Эти данные поддерживают мнение об отсутствии прямой пропорциональной зависимости эффекта от ППЭ и важной роли исходных фоновых характеристик в пределах низких значений [2, 54-56]. По мнению Е.Б. Бурлаковой [52], этот вывод относится к микродозам любого по модальности слабого воздействия.

Проведенное исследование ещё раз подтверждает, что нетепловое и кратковременное электромагнитное воздействие можно рассматривать как обычный слабый раздражитель для ЦНС [2,3]. К нему могут быть применимы различные неспецифические пути повышения биологической значимости слабого раздражителя, что было использовано и в настоящей работе. Это – одновременное действие двух и трёх СВЧ несущих частот; единая модуляция в диапазоне ритмов ЭЭГ и дробное облучение. При этом энергетическая характеристика не изменяется, и экспозиция остаётся кратковременной. Сопоставление феноменологии наблюдаемых реакций и их нейрофизиологических механизмов свидетельствует об усилении процессов синхронизации в биоэлектрической активности мозга при возрастании биологической значимости ответной реакции. При переходе от одной несущей частоты к двум и трём наблюдали (соответственно) усиление альфа и дельта диапазонов ЭЭГ и возрастание сходства биопотенциалов в передних и задних областях головного мозга. Это находит отражение и в показателях, характеризующих деятельность других систем

организма. Выделяется ЭМГ, которая наиболее чётко показывает наличие и степень выхода изменений за пределы ЦНС. Этот показатель заслуживает самостоятельного внимания как информативный (легко регистрируемый) индикатор реакции организма в условиях облучения головы объекта. Данное явление наблюдали, не только в экспериментах на кроликах, но и в исследованиях с участием испытателей – добровольцев. Полученные результаты, касающиеся феноменологии и механизмов биоэффектов, были идентичны, что диктует необходимость его учёта при рассмотрении соответствующей санитарно-гигиенической оценки.

Описанные реакции свидетельствуют об участие различных отделов коры и подкорковых структур в реакции мозга на нетепловое и кратковременное электромагнитное воздействие. По феноменологии изменений в суммарной биоэлектрической активности – это неспецифический ответ на слабый (скорее, подпороговый) раздражитель. Фундаментальные исследования механизмов формирования откликов в суммарной биоэлектрической активности мозга представляют участие целого комплекса отделов коры и подкорки. Существенный вклад в эту область внесен классическими работами E.D. Adrian, B. Metthews (1934), В.С. Русинова(1954), В.Е. Майорчик (1957), Н.П. Бехтеревой (1960), H. Jasper (1954), что приведено в ряде обзоров [57,58 и др.]. В 1968 году Андерсоном была сформулирована первая теория о происхождении ритмической активности в ЭЭГ. Он утверждал, что она формируется за счет таламических пейсмекеров, управляющих постсинаптическими потенциалами коры. Современные представления не опровергают эту теорию, напротив, расширяют её, подчёркивая важную роль трёх компонентов в формировании ритмической активности ЭЭГ: управляющее влияние ретикулярной формации среднего мозга на таламус; связь между таламусом и лимбической системой и пирамидные нейроны. В работе Е.Л. Жермунской рассмотрено 6 основных структур, формирующих паттерн ЭЭГ: ретикулярная формация ствола мозга, неспецифические ядра таламуса, ассоциативные ядра таламуса, задний гипоталамус, передний гипоталамус, хвостатое ядро. Эти данные поддерживают представление о том, что основная реакция на воздействия магнитной природы (усиление веретёнообразных колебаний в ЭЭГ) – отражает ответ ЦНС. Эту целостность работы ЦНС как системы можно наблюдать при выработке условных рефлексов на тот или иной раздражитель (в том числе ПМП, ЭМП) и при оценке его влияния на вызванные ответы на другие стимулы.

Раздел 3.

Реакции ЦНС как системы на ЭМП

3. 1 Выработка условных рефлексов на ЭМП

В фундаментальной нейрофизиологии убедительно обосновано комплексное участие структур коры и подкорки в формировании условно рефлекторной реакции организма. Своеобразие влияния магнитных и электромагнитных полей на деятельность отдельных нейронов и отделов мозга, а также их сходство с ответами на слабые (скорее подпороговые) стимулы (свет, звук) находит отражение и в выработке рефлексов. На рис. 25 приведена сравнительная характеристика основных показателей выработки рефлексов на СВЧ ЭМП, ПМП, свет и звук. Строго уровнять все эти раздражители по биологической значимости не представлялось возможным, на этом основании и выработка одноимённого рефлекса была различной.

По своим параметрам ЭМП и ПМП соответствуют слабым (скорее подпороговым) раздражителям ЦНС, тогда как свет и звук – чуть выше пороговых значений. Помимо этого, на показатели выработки рефлексов оказывал влияние и тот факт, что свет и звук относятся к группе адекватных раздражителей, воспринимаемых рецепторными клетками.

ПМП, ЭМП входят в состав подгруппы – общие неадекватные агенты, для которых нет соответствующих структурных образований. Однако современные представление о первичных физико-химических механизмах не оставляют сомнения в возможности взаимодействия полей и биологической ткани.

Как показано на рисунке 25, более слабые раздражители (ЭМП и ПМП) вызывали более медленное формирование условного рефлекса, который отличался меньшей прочностью и большим периодом запаздывания двигательного условного ответа. При используемых параметрах, рефлекс на ПМП требовал наибольшее количество сочетаний и характеризовался меньшей прочностью (рис. 25). По максимальной прочности рефлексы на свет и звук (как и на ПМП и ЭМП) были, практически, сопоставимы, что предполагало их различие не по феноменологии, а по биологической значимости.

Условный электрооборонительный рефлекс избегания на ПМП 1000эрстед у кроликов вырабатывается при отставлении безусловного подкрепления относительно появления условного сигнала на 20 с или 6 с. При отставлении 20 с он характеризовался: скорость появления – 40±2,3 сочетаний; скорость укрепления – 248±5,0 сочетаний;

прочность – 41±1,3%; средний период запаздывания двигательных ответов – 8,5±0,12сек. Условный рефлекс на звук (при том же отставлении – 20 с) соответственно, характеризовался: 26±3,4 сочетаний; 131±2,8 сочетаний; 58±5,2% и 4,9±0,09с. Рефлекс на ПМП при отставлении безусловного подкрепления 6с появился после 89±5 сочетаний, укреплялся после 152±8 сочетаний, достиг максимальной прочности 41%. Средний период запаздывания двигательных реакций равнялся – З,4±0,24 с. Выработанный при тех же условиях рефлекс на звук, соответственно, характеризовался: появление – 15±5 сочетаний; укрепление – 138±9 сочетаний; прочность – 54±3.6% ; средний период запаздывания – 2,5±0,14 с.

Важно отметить, что при выработанных рефлексах избегания двигательные ответы на звук, ПМП и ЭМП не сопровождались подкреплением. При этом в ЭЭГ при условном двигательном ответе на стимул любой модальности наблюдалось доминирование ритма 5-7 Гц. Это – та самая реакция, которая сопровождала электроток (как подкрепление), что явилось ещё одним доказательством выработки классического условного рефлекса, не только на хорошо изученные раздражители (свет и звук), но и ПМП, и ЭМП.

Сам факт возможности выработать условный рефлекс на ПМП и ЭМП ещё раз доказывает, что мы имеем дело с раздражителем для ЦНС. На этом основании его присутствие может (по законам физиологии) повлиять на ответ организма на другие воздействия, проявляя (тем самым) реакцию на уровне ЦНС. Соответствующие данные были получены при изучении изменений в импульсной и суммарной активности мозга на вызванные реакции на свет и звук на фоне ЭМП.

3. 2 Влияние ЭМП на вызванные ответы на свет, звук

В экспериментах на кроликах в условиях in vivo изучали влияние ЭМП нетепловых интенсивностей и короткой экспозиции на ответы нейронов зрительной области на вспышки света (1 Гц, 1 мс, 0.62 Дж). Показана зависимость влияния ЭМП (1 ГГц, ППЭимп 300 мкВт/см² или 30 мкВт/см²) на реакцию на вспышку света от режима, параметров и характера модуляции. В случайном порядке у одного и того же нейрона (после фона – 1 мин) записывали реакции на вспышки света (экспозиция 20 с) изолированно или в условиях действия СВЧ ЭМП. В последнем случае вспышки предъявляли после 30 с изолированного действия поля, учитывая ранее полученные данные о латентных периодах соответствующих реакций головного мозга. В результате, влияние слабого раздражителя (ЭМП) проявлялось более ярко (таблица 21). Феноменология изменений в реакции нейронов

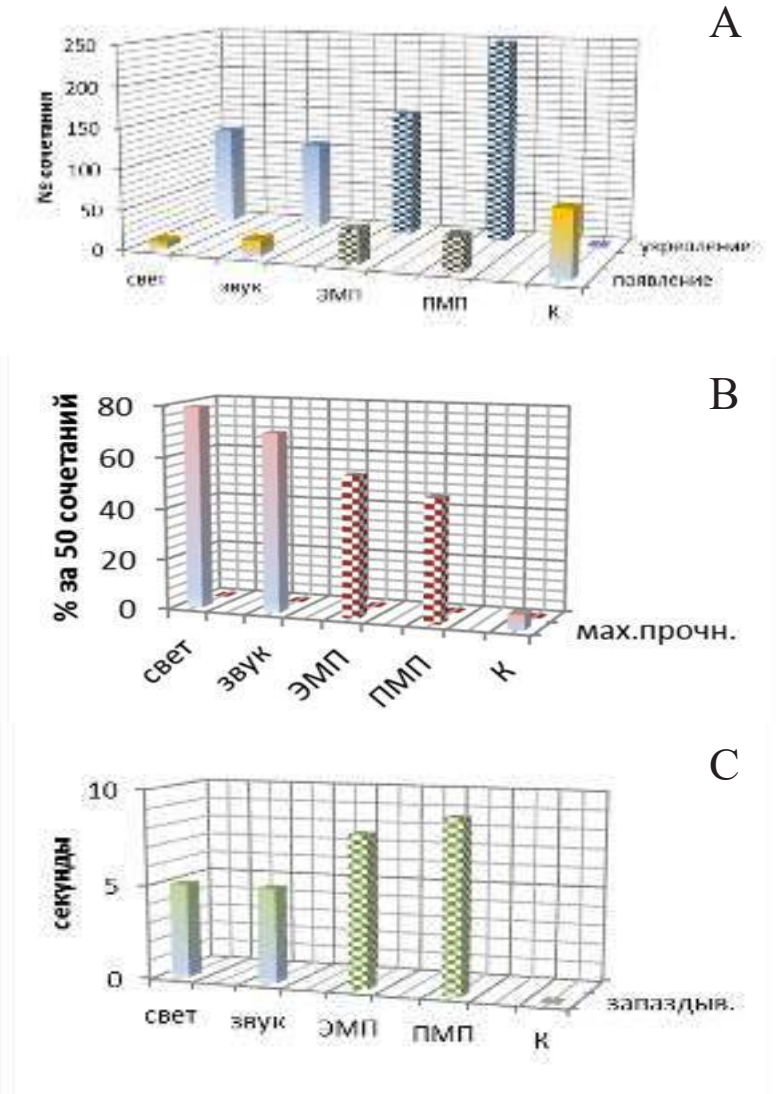


Рис.25 Сравнение выработки условных электрооборонительных отставленных рефлексов избегания на ЭМП, ПМП, свет, звук

Примечание: А – появление и укрепление рефлекса, В – максимальная прочность; С. – время запаздывания условной реакции. свет –50 Гц, 0.62 Дж; звук – щелчки 50 Гц, на 15 дБ выше порога слышимости человека; ЭМП –6 ГГц, меандр 50 Гц, 200 мкВт/см^2 имп.; ПМП – 100 мТл; в каждой серии кол-во кроликов -5 ; отставление безусловного подкрепления от начала действия условного сигнала – 20 с. Безусловное подкрепление – электрический ток пороговой величины для проявления электрографического отклика на ЭМГ, совместное действие – 2,5 с.

на вспышку света под влиянием ЭМП была одинаковой вне зависимости от режима облучения, ППЭ, частоты и характера модуляции в изученных пределах. Всегда в реакции нейронов на вспышку света доминировало усиление процессов торможения, в виде снижения частоты импульсации первой фазы активации и увеличения латентных периодов первой, второй активных фаз (таблицы 22,23).

Таблица 21 Сравнительная характеристика процента нейронов, реагирующих торможением на ЭМП различных параметров, в условиях спонтанной и вызванной вспышкой света активности

условное обозначение режима (параметры)		процент нейронов с реакциями в виде торможения при ППЭ в импульсе:			
		30 мкВт/см², в сериях		300 мкВт/см², в сериях	
		ЭМП	ЭМП+всп.	ЭМП	ЭМП+всп.
« НР»		19.6 n-56	32.1	32.3 n-62	50.0*
«ИР»	«0.12» (F-0.12 Гц,τ-16мс)	14.3 n-49	30.6 *	53.3.8 n-51	59.0*
	»100» (меандр-100 Гц)	18.8 n-53	50.9**	25.0 n-72	48.5* *
	«13→9» (13→9 за 0.5 мин, τ-25)	39.7▪ n-68	88.2**▪	30.3 n-66	75.7**▪
«П-И» (Fимп-1000 Гц, τ-0.4 мс; fпач-0.12 Гц, тпач. – 16 мс)		35.7▪ n-70	71.4**▪	30.1 n-63	63.4**
контроль ложное воздействие		3.8 (n – 53)			

Примечание: приведена активность нейронов зрительной области коры головного мозга кролика; во всех сериях – несущая частота ЭМП – 1 ГГц., однократная экспозиция 3-5 мин.; *, **- $p<0.05$, $P<0.01$ по критерию χ^2, относительно только ЭМП; все значения с ЭМП воздействиями достоверно отличаются от контроля ; ▪ $P<0.05$ относительно других режимов в соответствующем столбце по χ^2

Отличия в реакциях на ЭМП различных параметров наблюдали только в количественных характеристиках этих показателей. Как следует из таблиц 21-23, статистически значимые изменения (относительно изолированного действия вспышки) имели место почти при всех режимах и при ППЭ в импульсе, как 300 мкВт/ см², так и 30 мкВт/см². В наименьшей степени изменялся латентный период первой фазы активации, а в наибольшей – латентный период второй активной фазы. В последнем случае отмечен и более высокий уровень статистической значимости количественной характеристики наблюдаемых реакций.

Таблица 22 Показатели реакции нейронов зрительной области коры головного мозга кролика на вспышку света в условиях изолированного действия и на фоне ЭМП различных режимов с ППЭимп 300 мкВт/см^2

показатель реакции на вспышку света	изолированное действие вспышки света (n=104)	на фоне СВЧ различных режимов				
		непрерывный «НР» (n=62)	импульсный			пачечно-импульсный «П-И» (n=90)
			«0.12» (n=71)	«100» (n=108)	«13→9» (n=163)	
частота импульсации 1-ой фазы активации, Гц	6.8±0.28	5.7±0.20 *	4.8±0.31 **	5.0± 0.47 *	3.9±0.32 **●	5.0±0.29 *
латентный период 1-ой фазы активации, мс.	25.6±2.1	32±2.6	35±2.48 *	30±2.18	41±2.8 **	34±2.0 *
латентный период 2-ой фазы активации, мс	151.2±2.5	179±4.8 **	206±6.9 **●	183±2.8 **	218±4.1 **●	189±2.9 **

Примечание: приведены условные обозначения режимов, параметры которых представлены в таблице 21; * $p<0.05$, **$p<0.001$ относительно изолированного действия вспышки света, ● $P< 0.05$, относительно непрерывного режима –по критерию Стьюдента. ППЭ соответствует значению в непрерывном режиме и в импульсе импульсного режима.n–количество нейронов

Наиболее эффективным оказался режим с плавным изменением частоты модуляции от 13 Гц к 9 Гц за 0.5 мин. При этом режиме все анализируемые показатели реакции на вспышку статистически значимо изменялись, не только относительно ее изолированного действия, но и при сравнении с непрерывным режимом облучения.

На рисунке 26 приведены три примера оригинальных записей реакций на вспышки света, предъявляемые изолированно (А) и на фоне ЭМП (В). На каждом примере представлены импульсная и суммарная биоэлектрическая активность, записанная от одной области мозга с одного и того же микроэлектрода.

На каждом из примеров, сравнивая ответы на вспышки света на спонтанном фоне (А) и на фоне ЭМП(В), хорошо заметно снижение частоты импульсации активных фаз и увеличение латентных периодов реакции нейронов. Это находит отражение в суммарной биоэлектрической активности в виде ярко выраженных колебаний позитивных и негативных фрагментов ЭЭГ

Рис.27 наглядно демонстрирует степень изменений показателей реакции нейронов на вспышку света под влиянием ЭМП различных режимов. Наибольшая степень изменений всех показателей имела место при режиме «13→9», постепенно снижаясь к показателям при режимах « НР» и «0.12». Наиболее эффективно влияние данного режима проявляется при ППЭ – 30 мкВт/см^2 в импульсе, т.к. (только в этом случае) все показатели реакции на вспышку изменяются в большей степени, чем на остальные режимы. Заме-

Таблица 23. Показатели реакции нейронов зрительной области коры головного мозга кролика на вспышку света в условиях изолированного действия и на фоне ЭМП с ППЭимп 30 мкВт/см²

показатель реакции на вспышку света	изолированное действие вспышки света (n=104)	на фоне СВЧ ЭМП различных режимов				
		непрерывный «НР» (n=92)	импульсный			пачечно-импульсный «П-И» (n=86)
			«0.12» (n=111)	»100» (n=108)	«13→9» (n=99)	
частота импульсации 1-ой фазы активации, Гц	6.8±0.28	5.4±0.19 *	5.6±0.11 *	5.1±0.25 *	3.2±0.12 **●▪	4.9±0.34 **
латентный период 1-ой фазы активации, мс.	25.6±2.1	29±3.1	29±2.06	33±2.47	52±3.0 **●▪	40±3.0 **
латентный период 2-ой фазы активации, мс	151.2±2.5	178±5.2 **	186±5.9 **	181±1.6 **	238±5.1 **●▪	209±8.5 **

Примечание: *p<0.05, **p<0.001, относительно изолированного действия вспышки света, ●P<0.05 относительно непрерывного режима. ▪P<0.05 относительно других импульсных режимов – по критерию Стьюдента. ППЭ соответствует значению в непрерывном режиме и в импульсе импульсного режима.

тен и полипараметрический характер влияния ЭМП. При одних режимах более эффективной является ППЭ в импульсе 30 мкВт/см², при других – 300 мкВт/см², при третьих их действие проявляется, примерно, в равной степени. Эти данные поддерживают представление об отсутствии прямой пропорциональной зависимости ответа от энергетической характеристики ЭМП и значимости полипараметрической оценки. Подобный вывод следует и при анализе зависимости эффекта от ППЭ в среднем. На первое место выступают значимость режима и ППЭ в импульсе, из них и рассчитывается среднее значение [59]. Главное, что ЭМП нетепловой интенсивности и короткой экспозиции может изменять реакцию нейронов зрительной области коры головного мозга на вспышку света, влияя (тем самым) на функциональное состояние зрительного анализатора. Хорошо известно, что этот анализатор является для человека важнейшим, позволяет получить до 90% информации об окружающей реальности и даже малейшее нарушение (в том числе и замедление) в его работе может найти отражение в состоянии ЦНС.

Вполне вероятно, что определённый интерес может представлять влияние именно ЭМП на его состояние, т.к. оптическая система биологической природы, эволюционно возникшая у животных и способная воспринимать электромагнитное излучение видимого спектра (свет), – основной источник, обеспечивающий ее чувствительность, что нашло отражение в дальнейших исследованиях. В самостоятельной серии, изучали реакции

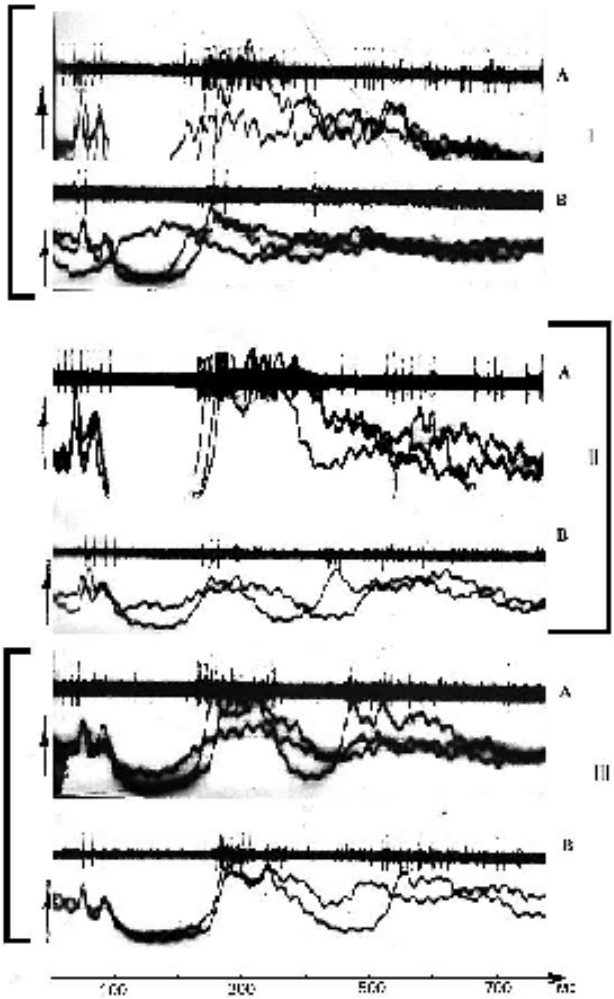


Рисунок 26. Примеры оригинальных записей вызванной импульсной и суммарной биоэлектрической активности зрительной области коры головного мозга кролика на вспышки света – изолированно и на фоне ЭМП.

Примечание: на каждом из трех примеров приведен отрезок записи (700мс) импульсной и суммарной активности, записанных с одного и того же микроэлектрода; ↑ – отметка предъявления вспышек: А – изолированно, В – на фоне ЭМП.

нейронов зрительной области коры головного мозга кролика на вспышки света в условиях действия: ЭМП+звук, ЭМП+ПМП, ЭМП+ звук +ПМП. Результаты приведены в таблицах 24 и 25.

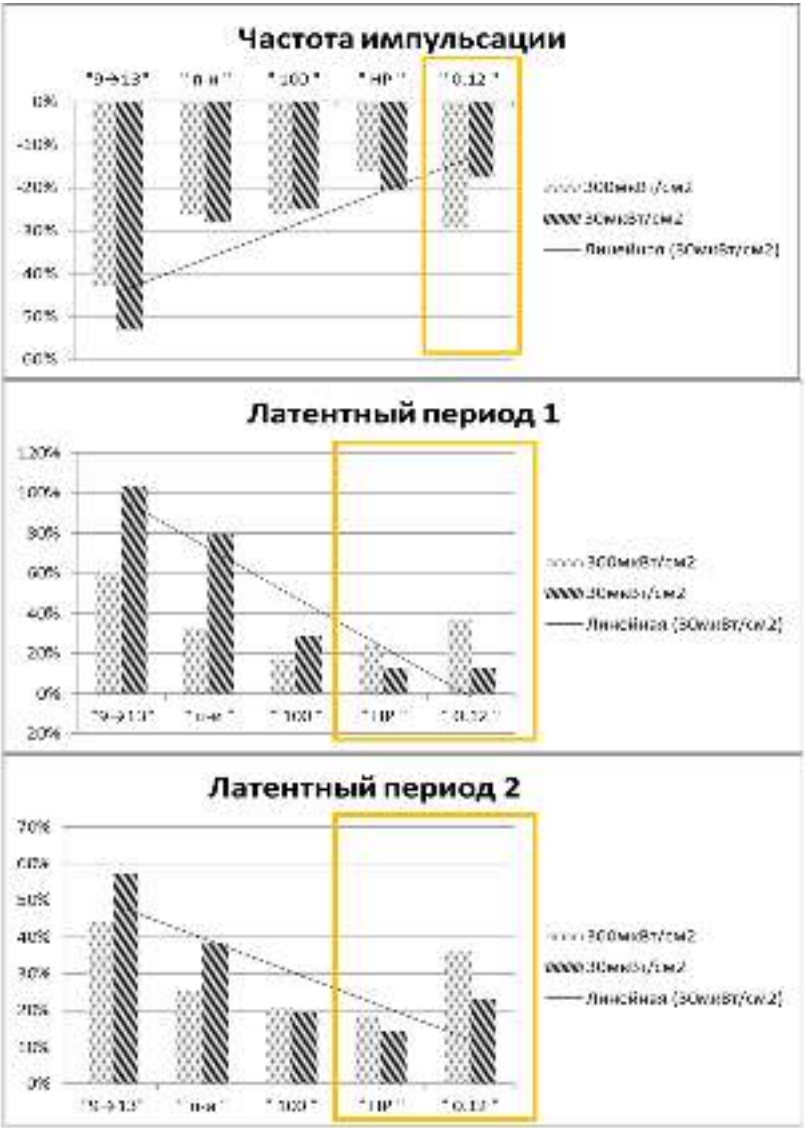


Рис.27 Соотношение изменений, вызванных ЭМП в реакции нейронов на вспышку света с режимом и ППЭ облучения.

Примечание: ось ординат – процент изменения показателя относительно его значения в контроле (изолированное действие вспышки), принятого за 0%; ось абсцисс – режимы облучения. Проведенная линия показывает тенденцию снижения эффектов ЭМП в зависимости от режима. В выделенных прямоугольниках отмечено преобладание ППЭ 300 мкВт/см^2, по сравнению с 30 мкВт/см^2 – в остальных вариантах облучения.

Таблица 24. Показатели реакции на вспышку света в условиях её изолированного действия и на фоне различных физических факторов

Показатель реакции на вспышку света	Вспышка света (N=92)	Вспышки света на фоне действия различных факторов:				
		звук (n=54)	ПМП (n=73)	ПМП + звук (n=58)	ЭМП (n=67)	ПМП + СВЧ (n=61)
Частота импульсации 1-й фазы активации, Гц	7.1±0.34	7.0±0.31	6.2±0.23	5.9±0.45	5.8±0.24 *	5.0±0.4 *
Латентный период 1-й фазы активации, мс	23.4±2.5	27.1±3.27	31±4.3	30±3.2	36±2.42 *	40±2.92 *•
Латентный период 2-й фазы активации, мс	148.0±2.31	150±2.48	165±3.2 *	173±4.3 *	181±3.11 *	201±4.83 *•

Примечание. В таблице приведены средние значения показателей по группе нейронов в серии. *, •p<0,05 по критерию Стьюдента относительно действия света, изолированно и в сочетании с другими физическими факторами, соответственно. n – число нейронов.

В экспериментах на 27 кроликах оценивали влияние различных физических факторов: ПМП (460 Э), ЭМП (6 ГГц, непрерывный режим, ППЭимп – 200 мкВт/см²), звук (щелчки 50 Гц, на 6 дБ выше порога проявления ЭЭГ отклика) – изолированно и в различных сочетаниях – на вызванные ответы нейронов зрительной области коры головного мозга на вспышки света (1 Гц, 1 мс, 0.62 Дж). Влияние факторов магнитной природы было сходно с действием звука (как неадекватного раздражителя для данной области). Реакции тормозного характера отмечали чаще (результат статистически значимый по группе нейронов), и они усиливались при сочетанном действии неадекватных для зрительной области раздражителей (ПМП и ЭМП; ПМП и звук).

Основной характер изменений сводился к снижению частоты импульсации первой фазы активации и к увеличению латентных периодов первой и второй активных фаз. Остальные показатели реакции на вспышки света, практически, не изменялись. Интенсивность реакции постепенно снижалась при действии ЭМП, далее – ПМП+звук, ПМП. На фоне только звука статистически значимых изменений в основных показателях реакции на вспышку света (при оценке по группе нейронов) отмечено не было. В наибольшей степени ответ на вспышку света изменялся на фоне сочетанного действия ПМП +

ЭМП. Это, вероятно, объясняется тем, что по своей биологической значимости (силе) они были близки, каждый из них соответствовал слабому (скорее подпороговому) раздражителю ЦНС.

Совокупность проведённых исследований дополняет соответствующие данные in vitro, доказывая, что и в условиях целостного организма нервные клетки реагируют на ЭМП. Именно эти основные структурные и функциональные единицы мозга дают представление о степени возбуждения (активации) ЦНС. По сравнению с суммарной биоэлектрической активностью и ответом организма, реакции нейронов характеризуются меньшими латентными периодами и большей реактивностью. Их реакции можно рассматривать как предвестники изменений на более высоком уровне организации ЦНС. Помимо этого, для таких неспецифических раздражителей, как ЭМП, для которых нет специализированных рецепторов, важно изучение реакций нейронов, в плане представления о нейрофизиологическом механизме их влияния на ЦНС. Конкретно представленные исследования демонстрируют возможность статистически значимых изменений в экстраклеточной биоэлектрический активности нейронов коры головного мозга кролика на ЭМП различных режимов и параметров при ППЭ в импульсе ≤ 300 мкВт/см². Характер реакции определяется исходным фоном, свидетельствуя о корригирующем влиянии изучаемого воздействия. Различные ППЭ, режимы облучения и характер модуляции позволяют увидеть их сложную взаимосвязь при реализации эффекта. Полученные данные поддерживают существующее в литературе мнение о полипараметрической зависимости эффектов ЭМП нетепловой интенсивности [54-56, 60]. Такая многогранная зависимость ответа характерна, главным образом, для слабых воздействий различных модальностей, тем ни менее, она существует[61].

Сходная характеристика реакций мозга и организма по данным ЭЭГ и поведения животных различных видов и человека описаны в литературе. При этом подчеркивается важная роль ЦНС в формировании этих реакций. Анализ суммарной и импульсной биоэлектрической активности мозга позволяет представить нейрофизиологический механизм формирования реакции ЦНС на ЭМП нетепловой интенсивности [2÷5]. Важным является доказательство, что данное воздействие можно рассматривать, как обычный неспецифический раздражитель для ЦНС, который подчиняется фундаментальным законам физиологии о модификации его биологической значимости. Такой вывод обосновывают и эксперименты с сочетанным действием ЭМП и раздражителей других модальностей. Влияние ЭМП нетепловой интенсивности и короткой экспозиции на функциональное состояние важного звена зрительного

Таблица 25. Характеристика изменений первой фазы активации в реакции на вспышку света под влиянием различных физических факторов.

Характер изменения	% нейронов с достоверными изменениями в реакции на вспышку света под влиянием физических факторов:				
	ПМП (n=73)	звук (n=54)	ПМП + звук (n=58)	ЭМП (n=67)	ПМП + ЭМП (n=61)
↓ частоты импульсации	6.8	5.6	13.8	13.4	24.6*•
↑ частоты импульсации	5.5	5.6	10.3	8.9	3.3
↓ латент. периода	6.8.	3.7	5.2	4.	3.3
↑ латент. периода	9.6	1.8	5.2	10.4*	14.7*
↓ частоты + ↑ латен. периода	10.9	3.7	15.5	16.4*	34.4*•
↑ частоты + ↓ латен. периода	5.5	-	5.2	8.9	4.9
% реагирующих нейронов	45.1	20.4	55.2	65.7	85

Примечание: приведены только достоверные изменения относительно контроля * $p<0.05$ относительно % случаев изменений противоположного характера; • $p<0.05$ относительно % изменений на другие воздействия.

анализатора – нейронов зрительной области коры головного мозга и их вызванный ответ на вспышку света предполагает и вероятность изменения в функциональном состоянии данного анализатора. В условиях дополнительной нагрузки (вспышки света) находят свое подтверждение ряд существующих положений о биоэффектах ЭМП нетепловой интенсивности: в пределах нетепловых значений (во всяком случае, до 300 мкВт/см²) нет прямой пропорциональной зависимости эффекта от ППЭ; основная феноменология реакции сводится к усилению процессов торможения в ЦНС; импульсный режим может вызывать большие изменения, чем непрерывный; характер модуляции в виде плавного изменения частот в диапазоне альфа ритмов ЭЭГ может провоцировать его усиление; определяющую роль в проявлении эффекта слабого ЭМП играют ППЭ в импульсе и полипараметрическая зависимость. Важная роль зрительного анализатора в функциональной организации центральной нервной системы и жизнедеятельности животных и человека предполагает вероятность влияния факторов магнитной, электромагнитной природы и на состояние организма.

Раздел 4

Влияние электромагнитного воздействия на состояние организма

4.1 Выход реакции на ЭМП за пределы ЦНС путём усиления его биологической значимости

В ряде работ экспериментально обоснована правомерность использования (хорошо известных) неспецифических путей повышения биологической значимости слабого раздражителя и для постоянных магнитных и электромагнитных полей [2,3,62,63 и др.]. К этим путям относится: усложнение режима облучения, повторение коротких экспозиций, применение ЭМП на фоне неполноценного функционирования ЦНС или в условиях сочетанного, комбинированного действия с другими факторами. Каждый из этих путей может усилить биологическую значимость воздействия как раздражителя – от слабого до средней силы и сильного, что находит отражение за пределами ЦНС, характеризуя функциональное состояние организма.

Известно, что повторение коротких воздействий любой модальности может вызвать повышение их биологической значимости путем кумуляции биоэффектов. С фундаментальной точки зрения этот вопрос не является простым. Будут суммироваться (или нет) результаты отдельных последовательных воздействий, зависит от ряда причин, таких как: параметры и условия облучения, состояние биообъекта, исходный фон, возможные сопутствующие влияния, соотношение экспозиций и пауз между ними. Как было показано нами ранее [3] однократное 1 и 5 мин облучение могло вызвать статистически значимые по группе животных изменения только в биоэлектрической активности мозга. Они проявлялись с большими латентными периодами, имели прочность не более 30-40 % , зависели от исходного фона и носили, главным образом, характер торможения. Увеличение времени однократного облучения до 30 – 50 мин, практически, не изменяло этой характеристики ответа. В наших исследованиях это касалось, как непрерывного режима облучения, так и импульсного[3,5,64].

Согласно данным литературы [20], можно предположить, что в конкретных условиях ЭМВ нетепловой интенсивности, имела место адаптация при увеличении времени постоянной экспозиции. Те же самые параметры и условия облучения, но при дробной экспозиции могли приводить к кумуляции ЭЭГ изменений. Последовательность наблюдаемых изменений описана в литературе как отражение усиления биологической значимости воздействия от раздражителя подпорогового к слабому (но пороговому) и далее – средней силы. Это соответствует

переходу реакций организма от неощущаемых [61] к адаптационным ответам как охранительное торможение и далее – умеренная активация [62, 63]. Повторение слабых ЭМВ в непрерывном режиме могло усилить биологическую значимость как раздражителя от подпорогового до слабого, тогда как при модулированном режиме (меандр 100Гц) – до раздражителя средней силы.

В экспериментах на крысах при анализе двигательной активности был получен сходный результат при сравнении непрерывного и дробного облучений СВЧ ЭМП с экспозицией 6 часов. Только в результате дробного облучения было получено достоверное различие между облученной и контрольной группами [3]. Важную роль играл, конечно, исходный фон. Сравнивали результаты ЭМВ на спонтанном двигательном фоне и в состоянии покоя. Более существенный эффект, в виде замедления двигательной активности наблюдали при облучении в фазы торможения двигательной активности, и он усиливался при увеличении экспозиции от 6 ч до 1 месяца. Однако, начиная с 20 дня, появились периоды отсутствия статистически значимых различий с контролем. Являлось ли это адаптацией или переходом к иному функциональному состоянию – вопрос, требующий дальнейшего изучения. Другая серия экспериментов с СВЧ облучением крыс и кроликов в течение месяца без привязки к конкретному фону, показала развитие дезадаптации и признаков невротизации, в период 14 ÷ 30 суток [64]. Вполне вероятно, что без привязки к конкретному фону, реакции на повторные облучения (в том числе и кумуляция) развертываются более медленно. Однако необходимо отметить, что ни в одном из вариантов повторных СВЧ облучений не было получено стойких нарушений в деятельности нервной системы. Более того, оценка состояния животных через 1-2 недели после облучения показывала отсутствие статистически значимых отличий от контрольной группы. Следует отметить, что при облучении ЭМП единых параметров наблюдали сходные изменения в поведении крыс и кроликов [64]. Учитывая то, что их размеры различны, можно предположить, что ведущим в проявлении реакции организма является биологическая значимость воздействия[19], которая в данном случае (ЭМП) для крысы и кролика является одинаковой.

Основным является заключение, что повторные кратковременные облучения ЭМП нетепловой интенсивности (ППЭ в НР или в импульсе ≤ 300мкВт/см²) при различных режимах и условиях могут приводить к кумуляции вызываемых изменений в деятельности нервной системы. Такое явление можно наблюдать в результате повторных воздействий с различной суммарной экспозицией (30-50мин, 1 час, 6 часов, месяц, хронически). Однако вызванные изменения во всех вариантах нашего

исследования не являлись стойкими. После прекращения облучения (до месяца) через 1-2 недели в экспериментах на животных анализируемые показатели не отличались от контрольных значений.

Ещё одним путём повышения биологической значимости слабого раздражителя является его использование на фоне неполноценного функционирование ЦНС. Это понятие — довольно широкое. Сюда можно отнести и травмы, имеющие органическое нарушение и функциональные отклонения. Данные литературы по вопросу влияния ЭМП нетепловой интенсивности на организм в состоянии неполноценного функционирования — разноречивы. Экспериментальные работы свидетельствуют как об усугубляющем действии, так и о положительном купирующем влиянии ЭМП. Последнее в большом объеме находит свое отражение в работах клиницистов, использующих ЭМП нетепловой интенсивности в физиотерапевтической практике. Однако в данном разделе основное внимание уделяется фундаментальному вопросу о соответствующем пути усиления биологической значимости слабого раздражителя для ЦНС. Предполагается, что такое усиление эффективности ЭМП в данных условиях определено повышением возбудимости нервной ткани, что имеет место при нарушении её жизнедеятельности. Известно, что именно возбужденная ткань воспринимает слабые воздействия любой этиологии более активно, что показано и для ПМП и ЭМП [2,3, 5]. С физической точки зрения некоторые авторы это связывают с тем, что движение ионов в примембранной области и по каналам через мембрану активизируется, повышая индуктивность нервной ткани, что усиливает деполяризационные свойства мембраны. С физиологической точки зрения, повышается чувствительность нервной ткани, ослабляются тормозные процессы, защищающие ткань от различных дополнительных (ненужных) воздействий, хотя и слабых по своей биологической значимости. В общем виде эти данные согласуются и с классическими положениями Н.Е. Введенского об общих закономерностях реагирования живой ткани в зависимости от силы раздражителя и исходного уровня функционального состояния ткани.

Комбинированное и сочетанное действие факторов различной модальности — самостоятельная проблема физиологии. Различие понятий «комбинированное», «сочетанное» — не является строгим. То и другое подразумевает совместное влияние на организм различных факторов, предъявляя их одновременно или последовательно. Однако в некоторых случаях (в частности, в медицинской практике) последовательное применение факторов называют комбинированным, а совместное использование — сочетанным. Тем ни менее, в основе в обоих случаях лежит влияние одного действия на другое с целью усиления или ослабления

биоэффекта. Чтобы получить желаемый результат необходимо иметь научное представление о механизмах действия каждого из факторов и о фундаментальных основах их взаимодействия.

Известно, что каждый из факторов влияет на организм по своим каналам (механизмам); проявляя зависимость эффектов от параметров, экспозиции, состояния биообъекта и условий воздействия, что в совокупности определяет его биологическую значимость. В своих обзорных сообщениях Е.Б. Бурлакова неоднократно подчеркивала, что действие фактора на биообъект определяется, не столько его природой, сколько — дозой. Рассматривая сочетание факторов физической и химической природы, она отмечает, что при высоких уровнях воздействия можно наблюдать усиление или ослабление их влияния, а также независимый эффект. Тогда как при низких уровнях чаще наблюдается аддитивный (суммирующий) эффект. В этих случаях для усиления биоэффекта за счет комбинирования или сочетания различных по модальности факторов (например, свет, звук, электрический ток, ЭМП и т.д.) необходимо уровнять или сблизить их по биологической значимости и пути введения в организм. Известно, что при сочетанном действии организм отвечает только (или преимущественно) на наиболее сильное воздействие. В случае комбинированного — этого можно избежать, используя определенную (в каждом случае свою) последовательность предъявления различных по биологической значимости воздействий. Что касается пути введения в организм, то хорошо известно, что биоэффекты одномодальных факторов, поступающих по одному и тому же проводящему пути при соизмеримой биологической значимости, складываются легче, чем разные по модальности. Для последних одним из изученных механизмов сближения путей введения их в мозг является частота их предъявления, так как механизм навязывания или провокации ритмов имеет некоторые общие моменты, независимые от модальности стимула. Например, в проведении импульсов различной модальности принимают участие структуры в мозге, чувствительные к определенной частоте. Существуют различные методы провокации или усиления определенной частоты в ЭЭГ с целью изменения функционального состояния организма (работы М.Н.Ливанова, Н.П. Бехтеревой и их учеников). Наиболее эффективным из таких методов является «режим обратной связи от биотоков» (мозга, мышц, сердца), т.к. в этом случае (более вероятно) происходит синхронизация биологических и навязываемых ритмов, что приводит к увеличению амплитуды регистрируемого сигнала.

На рис. 28 результаты собственных исследований демонстрируют усиление эффектов ЭМП в условиях кумуляции повторных коротких экспозиций, на фоне неполноценного функционирования ЦНС и при ком-

бинации воздействий. Показано, что на фоне физиологической нормы и т.н. безартефактных электродов только на 8-10 ЭМВ в режиме кумуляции можно наблюдать усиление ответа от подпорогового до средней силы (↑ тэта активности). На фоне неполноценного функционирования организма наблюдалась другая картина, которая характеризовалось доминированием в ЭЭГ высокоамплитудных медленных и острых волн. В этом случае имел место постепенный переход феноменологии ответа в виде усиления альфа диапазона к тэта активности (4-6 воздействий) и далее – стресс реакции (комплексы высокоамплитудных медленных и острых волн). К этой реакции статистически значимо по группе кроликов приводили восьмая – десятая 5 мин ЭМП экспозиции.

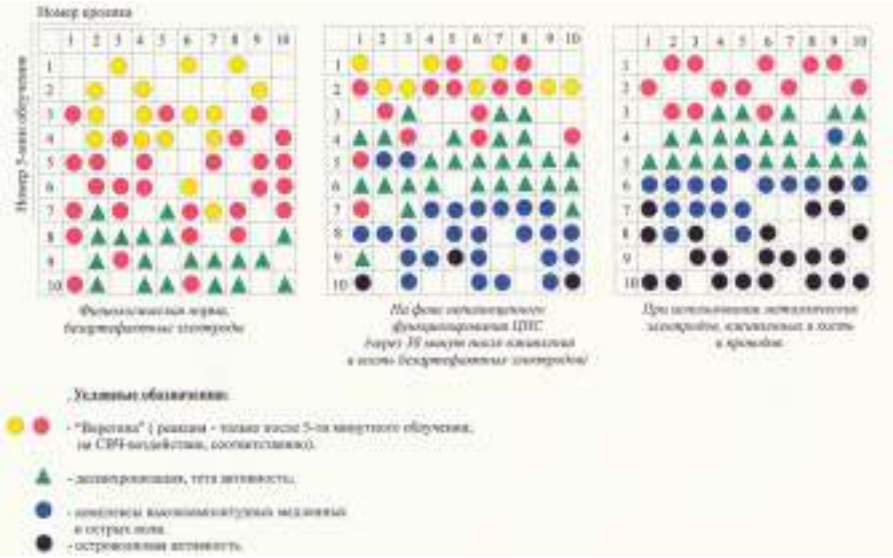


Рис. 28. Динамика ЭЭГ- изменений на повторные 5-ти мин. СВЧ облучения одних и тех же параметров при различных исходных данных

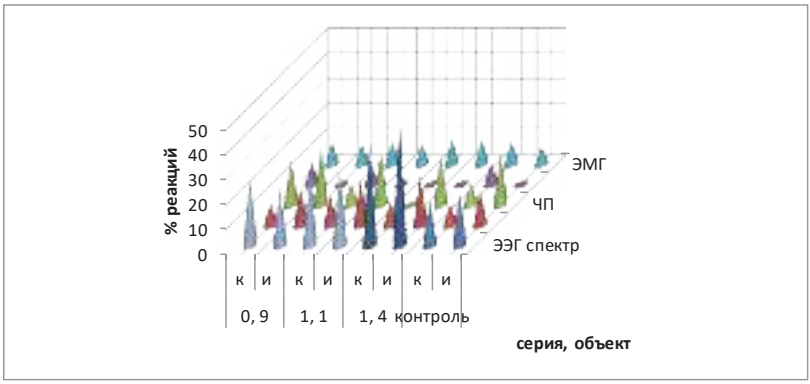
На фоне же металлических электродов, которые создавали условия для появления тока микрополяризации, появлялась типичная судорожная островолновая активность. По данному показателю (суммарная биоэлектрическая активность мозга) выход за пределы нормы (судорожная активность), а также переход основных изменений от альфа диапазона к тэта ритмам, предполагает вовлечение в реакцию, не только ЦНС, но и других систем организма. Это явление можно наблюдать и в сериях со сложноорганизованными параметрами ЭМВ в условиях повторения коротких экспозиций. В частности, в исследованиях с синхронной об-

ратной связью от волн ЭЭГ (таблица 26), параллельно анализируя ЭЭГ, частоты пульса, дыхания, а также электромиограмму у кроликов, можно наблюдать реакцию организма. Статистически значимо по группе кроликов изменялись все показатели. Важно отметить, что сходство процессов между ЭЭГ дистанционно расположенных отделов мозга усиливалось при синхронном облучении от волн дельта диапазона, тогда как в случае тэта – уменьшалось. Однако в том и другом случаях это послужило основой реагирования других систем организма. Независимо от режима облучения, наблюдали усиление ЭМГ и замедление ЧП и ЧД (таблица 26). Как было показано выше, повышенной эффективностью обладает и режим свипирования частот в различных диапазонах ЭЭГ (рисунки 18, 19, 21 и таблица19). Использование одновременно двух или трёх несущих электромагнитных частот с соответствующей модуляцией, усиливало ответную реакцию организма. Эти данные получены в экспериментах на кроликах и исследованиях с участием испытателей-добровольцев и подробно приведены в таблицах 20÷24, а обобщенный вариант на рисунке 29.

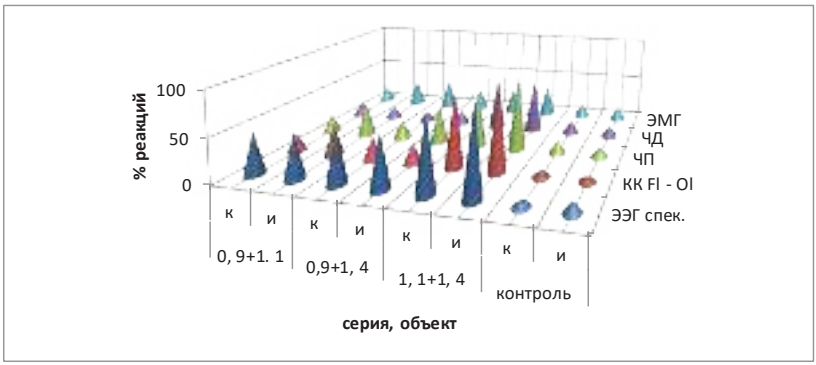
Таблица 26 Сравнительная характеристика показателей различных систем организма в экспериментах на кроликах с ЭМП воздействием в режиме синхронной обратной связи от волн ЭЭГ.

Серия условное обозначение	% случаев статистически значимых изменений относительно фона						
	ЭМГ усиление	ЧП замедление	ЧД замедление	коэффициент кросс корреляции между ЭЭГ :			
				Or – Ol	Or – Fr	Or – Fl	Ol – Fl
δ синх.	63.63	45.45	45.45	54.54 ↓	63.63 ↓	54.54 ↓	63.63 ↓
t синх.	72.72	36.36	36.36	72.72 ↑	63.63 ↑	63.63 ↑	54.54 ↑
δ н/синх.	9.09	18.18	9.09	0	9.09 ↑	18.18 ↓	9.09 ↑
К 1	9.09	0	0	9.09 ↑	9.09 ↓	9.09 ↓	9.09 ↓

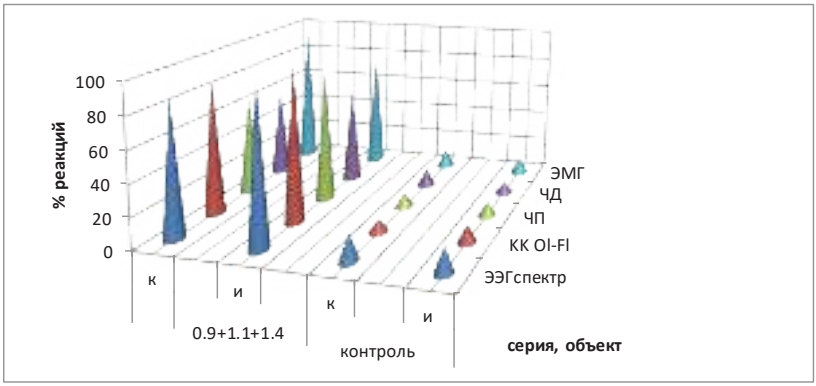
Примечание: выделение цветом – статистически значимые изменения относительно контроля; ↓, ↑ – снижение, повышение показателя, соответственно



A



B



C

Рис.29 Сравнительная характеристика реакций кроликов и испытателей в сериях с одной (А), двумя (В) и тремя (С) несущими с единой модуляцией в режиме «3→1» при сохранении ППЭ в суммарном импульсе 300 мкВт/см^2

Примечание: условные обозначения –к, и, соответственно, кролики (п-11), испытатели (п-14), остальное – в тексте и таблицах 20÷24.

Приведённые выше результаты с анализом комплекса показателей различных систем организма свидетельствуют о влиянии на организм животных и человека слабых электромагнитных воздействий. В условиях, повышающих биологическую значимость ЭМВ, изменения в организме могут отражаться и в их жизнедеятельности, что может носить положительный и отрицательный характер. Многочисленные примеры использования в медицинской практике ПМП и ЭМП представляют положительное влияние данных слабых воздействий на функциональное состояние отдельных систем и организма в целом. С другой стороны, многочисленные гигиенические работы и разработки соответствующих документов, убедительно предупреждают о возможных нарушениях в жизнедеятельности человека. Соответствующие примеры мы наблюдали при изучении способов купирования экспериментального невроза, и при анализе операторской деятельности человека в условиях облучения слабыми ЭМВ.

4. 2 Примеры положительного и отрицательного влияний слабых ЭМВ на организм

Среди нервно-психических заболеваний большое место (по распространенности) занимают неврозы [65-67]. Обилие форм их проявления сопровождается разнообразием электрофизиологических и поведенческих «картин», что диктует необходимость изучения и анализа большого числа вариантов невротических нарушений. На этом основании сохраняется актуальным изучение экспериментальных неврозов у животных, используя различные модели для уточнения патогенеза и разработки принципов соответствующей терапии. Один из таких частных случаев представляет наш конкретный эксперимент.

Ранее нами была разработана модель невроза страха у кролика, которая подробно описана в ряде работ [67-69]. В основе невротизирующего приема было неожиданное резкое усиление электрокожного подкрепления на стадии тренировки выработанного оборонительного рефлекса избегания. Это вызывало эмоциональную реакцию типа страха, которая (как известно) может стать причиной и сопровождать многие серьезные отклонения высшей нервной деятельности. В результате наблюдали исчезновение двигательных ответов на условный сигнал, их оживление на дифференцировку и межсигнально (рис.30), что находило отражение в электроэнцефалограмме, электромиограмме, дыхании (рис.31). Как показано на рисунке 30, в контроле 400 сочетаний условного и безусловного раздражителей без предъявления невротизирующего фактора не приводят к явному искажению условнорефлекторной деятельности. В состоянии невроза общее поведение кроликов характеризовалось повышенным

беспокойством, стремлением выгрызать на себе шерсть, преобладанием реакций типа страха. Имело место снижение порога чувствительности к болевому раздражению и заметное падение веса.

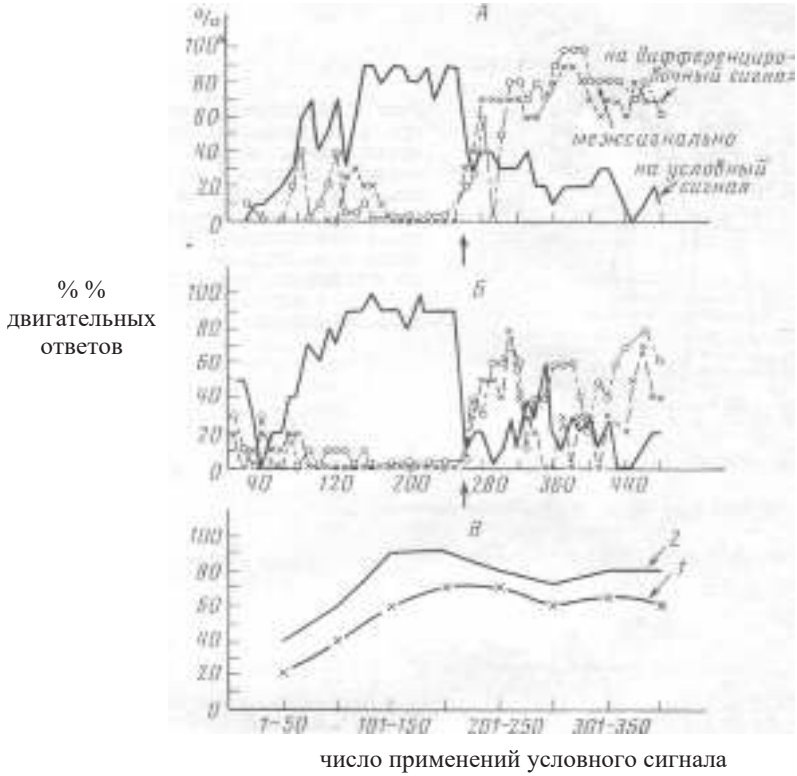


Рис. 30 Динамика движений в процессе выработки и тренировки условных рефлексов до и после введения невротизирующего фактора

Примечание: ↑-введение невротизирующего фактора ; **А** – кролик фиксирован в станке; **Б** – при свободном поведении; **В** – контроль (без введения невротизирующего фактора)., 1, 2 разные кролики

Такая ситуация сохранялось более 1 месяца, что и позволило трактовать полученное нарушение как экспериментальный невроз.

Его основные корреляты сводились к хаотичности частотно – амплитудных характеристик биопотенциалов мозга, мышц и в дыхании. Все эти показатели постоянно меняли свои параметры [67].

В биоэлектрической активности головного мозга амплитудные и частотные характеристики выходили за пределы нормы, постоянно

изменялись, а сходство биопотенциалов коры и подкорковых структур (в один и тот же момент времени) усиливалось. Можно предположить, что это и было основным коррелятом развития данного нарушения, что находило отражение в различных системах организма. Сразу же после введения невротизирующего фактора на электрокардиограмме появлялись экстрасистолы. В дальнейшем при развитии экспериментального невроза экстрасистолия исчезала, сохранялось лишь повышение частоты пульса (P<0,001). Еще более заметно возрастала частота дыхания. Динамика дыхания в процессе опыта при экспериментальном неврозе по сравнению с нормой отражает не только резкое возрастание средней частоты дыхания, но и появление хаотичности (Рис.31). В норме какая-то одна форма активности могла сохраняться от 3 до 12 мин, тогда как при экспериментальном неврозе — не более 3с. Это — быстрые асинхронные низкоамплитудные колебания, которые были отмечены ранее и другими авторами при анализе ЭЭГ у кроликов, находящихся в невротическом состоянии, и получили название «махристости». Вероятно, они были отражением усиления тэта и бета 2 диапазонов ЭЭГ.

Определение коэффициентов кросскорреляции между ЭЭГ сенсомоторной области коры и каждым из интересующих нас нижележащих образований показало, что при экспериментальном неврозе усиливается сходство биоэлектрических процессов. Например, в норме КК довольно далеки от единицы (0,3—0,4), тогда как при неврозе — значительно более близки к ней (0,7—0,8), что по данным М.Н. Ливанова[1] может отражать усиление пространственной синхронизации биопотенциалов.

Наиболее яркие изменения в диапазонах ЭЭГ тэта и бета2 соответствовали данным литературы о том, что реакции типа страха, агрессии, ярости и тревоги, протекают на фоне резкого повышения эмоционального тонуса [70÷73].

Дальнейшие эксперименты сводились к поиску путей нивелирования этой ситуации. В настоящем фрагменте работы описаны различные факторы и приемы их использования как варианты возможных ослаблений (купирования) полученного экспериментального невроза. Они основаны на данных литературы о: реципрокных отношениях гиппокампа и ретикулярной формации среднего мозга [73]; соотношении ритмов тэта и альфа диапазонов ЭЭГ[1,71,73]; об антистрессовом влиянии слабых ЭМП[62],снижении эмоционального напряжения аминазином. Основное внимание привлекало ЭМП нетепловой интенсивности как слабый раздражитель для ЦНС, которое было предметом наших многолетних исследований [3] и давно нашло свое применение в физиотерапевтической практике.

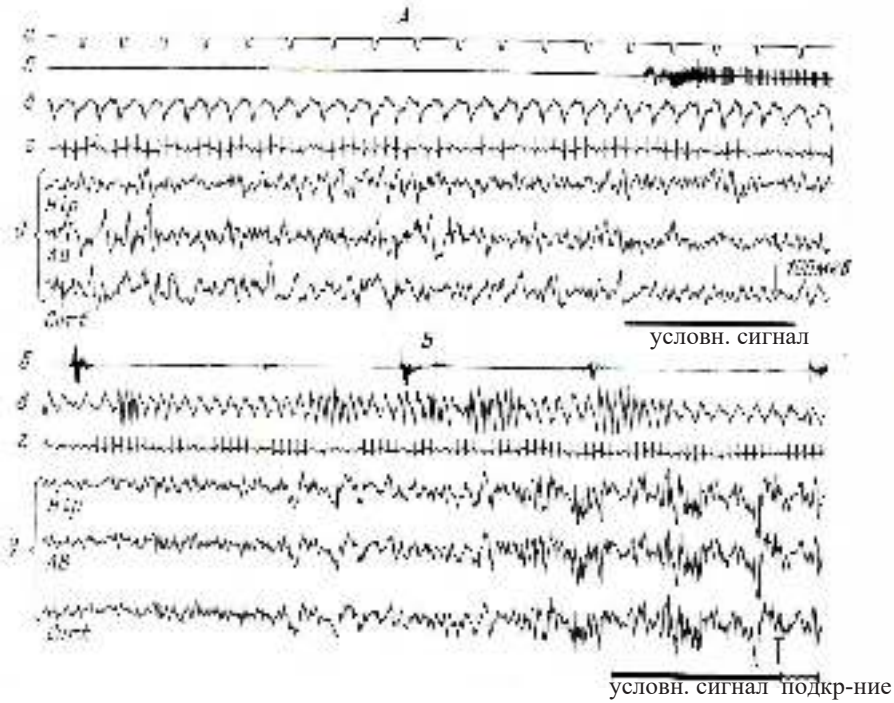


Рис.31 Пример оригинальной записи ЭМГ, дыхания, пульса и суммарной биоэлектрической активности различных структур мозга у кролика в норме(А) и при экспериментальном неврозе (Б).

Ростовские ученые давно и активно применяют ЭМП с позиции теории неспецифических адаптационных реакций [62,63]. Способность слабых ЭМП вызывать реакции, соответствующие адаптационным ответам на раздражители слабой и средней силы, легла в основу их защитного действия от повреждающего агента. Реакции на нетепловые ЭМП в виде тренировки и активации являются антистрессовыми, повышая неспецифическую резистентность организма [62, 63].

Одним из путей воздействия является использование слабых ЭМП, модулированных частотами, соответствующими биоритмам мозга, мышц. Подобные тренировки регуляторных механизмов с применением ЭМП в условиях обратной связи от параметров жизненно важных систем организма были описаны Н.Б. Суворовым и др. [74]. Такие приемы используются в терапевтической практике для повышения адаптационных возможностей организма и, тем самым, ускорения восстановления нарушенных или ослабленных функций ЦНС.

Ученые Института биофизики клетки РАН разработали и применили на практике метод и приборы биорезонансной электроимпульсной терапии [75]. Используя генератор ГГц диапазона с модуляцией от 1 Гц до 200 Гц, было успешно проведено лечение пациентов с различными заболеваниями, в том числе и нервных болезней (неврозы, неврозоподобные состояния, невралгии). Описано экспериментальное исследование коррекции нервных и сердечно-сосудистых расстройств, используя маломощное (100-150 мкВт/см²) СВЧ ЭМП в условиях полипараметрической модуляции.

Совокупность полученных нами результатов дополняет имеющиеся сведения о возможных путях купирования невротических расстройств, основанных на повышении эмоционального напряжения (типа невроза страха) [23, 70].

Работа выполнена на 30 взрослых кроликах в сериях с различными вариантами воздействий, предполагаемо купирующих невротические проявления. Основываясь на данных литературы, использовали следующие варианты воздействий:

- раздражение ретикулярной формации среднего мозга (NRT) током микро поляризации: (200 Гц, 5 – 6V, 0.1 мс) по 20с в день;
- облучение ЭМП МР: 10 ГГц, режим модуляции в виде перебора частот в альфа диапазоне ЭЭГ (13 Гц —>9 Гц за 0,5 мин, плотность потока энергии в импульсе 200 мкВт/см²), по 20 мин в день;
- облучение ЭМП НР: 10 ГГц, непрерывный режим, 200 мкВт/см² в условиях металлического электрода «антенны», вживленного в NRT, по 20 мин в день;
- введение аминазина внутримышечно в дозе 15 мг/кг один раз в день.

Каждую из этих процедур осуществляли на фоне состояния экспериментального невроза ежедневно в течение 10 дней, в которые тренировка условной деятельности не проводилась. Во всех сериях во время эксперимента кролики находились в состоянии мягкой фиксации на деревянном станке и имели электроды, вживленные в различные структуры головного мозга. Ими были: сенсомоторная и зрительная области коры; гиппокамп (Hipposampus); таламус (Thalami); гипоталамус (Hipothalami); септум (NSL); базальное ядро амигдалы (AB); ретикулярная формация среднего мозга (NRT). В экспериментах с ЭМП облучению подвергалась, главным образом, голова кролика и примеряемые электроды и провода, находящиеся в зоне облучения, не были металлическими. Они неоднократно были описаны ранее, как и источники, и параметры ЭМП [3,22,55, 59 и др.]. До и после каждого истинного или ложного воздействия оценивали: содержание тэта диапазона в спектрах мощности различных образований мозга; значения коэффициентов кросскорреляций (КК) между

ЭЭГ сенсомоторной области коры и подкорковых структур; частоту дыхания и количество всплесков (подергиваний) на ЭМГ.

Каждый из анализируемых показателей у различных кроликов имел одинаковую направленность изменения (относительно нормы) при экспериментальном неврозе. Она сводилась к резкому усилению конкретных значений и их разброса (увеличению ошибок к средним) [67, 69]. В данной работе нас интересовала, главным образом, направленность полученных изменений под влиянием описанных выше (предполагаемо купирующих) воздействий.

После 10 дней воздействий в течение двух недель анализировали прочность условно рефлекторных двигательных ответов за 50 применений условного стимула (щелчки 50Гц интенсивностью 15дб над уровнем порога слышимости человека при данных условиях).

Результаты изменений в биоэлектрической активности мозга представлены в таблицах 27 и 28. Как следует из таблицы 27, процедуры ложных воздействий в течение 10 дней у практически здоровых кроликов могли приводить к небольшому, но достоверному (по группе, $P<0,05$) усилению тэта-активности в гиппокампе и септуме. Степень данного изменения не выходила за рамки нормы, свидетельствуя о слабом повышении эмоционального напряжения, которое не находило отражения в других показателях. В контрольной серии с экспериментальным неврозом, выходящее за пределы нормы (резкое – в 2 и более раз) усиление тэта-активности (характерно для стадии развития экспериментального невроза) сохранялось и после 10 дней ложных воздействий. Результаты свидетельствуют о склонности к нормализации в биотоках мозга при всех вариантах корректирующих воздействий. Во всех случаях в содержании тэта-диапазона отмечалось достоверное уменьшение энергии и разброса данных. Степень выраженности этой положительной тенденции была различной. Наиболее слабые изменения отмечены в сериях с аминазином и с раздражением ретикулярного ядра покрышки среднего мозга (NRT) током микрополяризации. В этих случаях данные статистически значимо не различались, на этом основании в таблицах 27 и 28 приводим только результаты серии с раздражением NRT.

На фоне экспериментального невроза стимуляция NRT (5-6V) по 20с в день в течение 10 суток вызывала частичную нормализацию. Сила тока была выбрана такой, которая вызывала слабую активацию NRT,что находило отражение в коре и давало возможность проявиться реципрокному отклику в структурах лимбического круга. Увеличение силы тока до 8-25V приводило к активации во всех структурах. Важно отметить, что даже при 35V реакция была иной, она не

соответствовала изменениям, наблюдаемым при экспериментальном неврозе. Можно предположить, что в случае с раздражением NRT (5-6V) основную роль сыграли реципрокные отношения между ретикулярной формацией среднего мозга и гиппокампом. Статистически значимые изменения (P<0,05) в виде снижения индекса тэта -активности в этой серии отмечены только в гиппокампе и септуме.

Более выраженный положительный эффект наблюдался в результате 10 дней (ежедневно по 20 мин) облучения преимущественно головы кролика ЭМП, в режиме свипирования частот альфа диапазона ЭЭГ. Широко применяемая в психологической и клинической практике процедура биологической обратной связи способна повысить энергию альфа диапазона, что влечет за собой снижение других частот (в частности, тэта-полосы). Для этой цели в физиотерапевтической практике используют ЭМП, модулированные в режиме плавного изменения частот в желаемом диапазоне ЭЭГ (главным образом, альфа). Результаты наших исследований (таблица 27) показывают большее (по сравнению с предыдущим вариантом воздействия) снижение энергии и уменьшение разброса частот тэта диапазона у кроликов в состоянии экспериментального невроза. Положительные изменения наблюдали во всех анализируемых структурах, их значимость была выше, что различало серии между собой (P<0,01).

Еще более выраженный положительный эффект по стабилизации тэта-активности мы получили в серии экспериментов с ЭМП облучением в условиях электрода «антенны», вживленного в NRT (таблица 27).

Важно отметить, что данное воздействие возвращало показатели тэта-активности к нормальным значениям. При этом уровень значимости был еще выше (P<0.001), и результат серии 5 статистически значимо отличался от соответствующих показателей в сериях 3 и 4.

Таблица 27. Сравнительная характеристика процентного содержания тэта диапазона в спектрах мощности различных отделов мозга в различных экспериментальных сериях.

Серия № п/п, особенность эксперимента	Время оценки относительно 10 суток воздействия	процентное содержание тэта-диапазона в отделах:			
		CORT	HIP	AB	NSL
Серия 1 – Контроль 1 ложные воздействия в условиях нормы	до	17,2 ±0,4	22,8 ± 0,3	19,7 ±0,1	2■1 ±0,6
	после	19,0 ±0,8	25,2 ±0,4 *	21,9 ±0,2	24 ±0,5 *
Серия 2 – Контроль 2 ложные воздействия в условиях экспериментального невроза	до	43,7± 1,1 ●	47,5 ± 1,3 ●	53,8± 1,4 ●	50,0 ± 1,6 ●
	после	42,9 ± 0,8	48,1 ±0,9	54,2± 1,6	48,9 ± 0,9
Серия 3- Раздражение электрическим током NRT (5-6V,20с/день) на фоне невроза	до	44,1 ±0,9	48,7 ±0,8	50,3 ± 1,6	48,4 ± 1,4
	после	42,4 ± 0,3	45 ±0,5 *■	49,2 ± 0,7	43,2 ±0,4 *■
Серия 4 – ЭМП, модулир. режим в альфа-диапазоне ЭЭГ (13–>9Гц) - на фоне невроза (20мин/день)	до	42,8 ±0,7	47,4 ± 1,2	49,0 ± 1,3	48,0 ± 0,9
	после	32,3 ±0,4 **■■	33,1 ±0,7 **■■	33,2 ±0,9 **■ ■	38,5 ± 0,4 **■■
Серия 5 – ЭМП, непрер. режим при условии электрода «антенны» в NRT- на фоне невроза (20мин/день)	до	43,8 ±0,8	48,2 ± 1,3	52,0 ±0,9	49,1 ± 1,4
	после	20,5 ±0,1 ***■■■	22,3 ± 0,7 **■■■	21,6 ±0,1 ***■■■	38,3 ±0,6 **■■■

Примечание: В каждой серии приведены средние спектральные характеристики по 5 кроликам и, соответственно, 50 эпохам анализа по 20с.; CORT- кора головного мозга (височная область); HIP – гиппокамп; AB -базальное ядро амигдалы; NSL-латеральное ядро септума, NRT – ретикулярное ядро покрышки среднего мозга. ● –P<0,05 относительно периода до в серии1; *,**,*** -.p<0.05, P<0.01, P<.001, соответственно, по критерию Стьюдента, относительно периода – до. ■,■■,■■■ – P<0.01 по критерию Стьюдента, относительно серий 1, 2,3,4, соответственно.

Таблица 28. Сравнительная характеристика коэффициентов кросскорреляций между показателями суммарной биоэлектрической активности коры и подкорковых структур в различных сериях.

№ серии п/п	особенность эксперимента	относительно 10 суток воздействия	коэффициенты кросскорреляции между показателями суммарной биоэлектрической активности коры и подкорковых структур:				
			HIP	AB	NSL	AHA	AHP
1	Контроль 1 – ложные воздействия в условиях нормы	до	0.41±0.2	0.40±0.3	0.38±0.1	0.40±0.3	0.44±0.1
		после	0.38±0.3	0.34±0.1	0.42±0.2	0.5±0.3	0.46±0.2
2	Контроль 2 – ложные воздействия в условиях экспериментального невроза	до	0.81±0.1 ●	0.90±0.02 ●	0.68±0.05 ●	0.77±0.02 ●	0.89±0.06 ●
		после	0.88±0.08	0.89±0.08	0.75±0.1	0.78=1= 0.1	0.81±0.1
3	Раздражение электрическим током NRT (5-6V,20с/день) на фоне невроза	до	0.86±0.06	0.87±0.05	0.72±0.08	0.75±0.09	0.78±0.07
		после	0.69±0.05 *■	0.79±0.08	0.53±0.09 *■	0.66±0.1	0.67±0.0.9
4	ЭМП, модулирован, режим в альфа-диапазоне ЭЭГ (13–9Гц) – на фоне невроза (20мин/день)	до	0.79±0.1	0.85±0.07	0.77±0.03	0.80±0.06	0.86±0.1
		после	0.50±0.06 **	0.61±0.04 **	0.60±0.05 *	0.58±0.02 **	0.61±0.04 **
5	Серия 5 – ЭМП, непрер. режим при условии электрода «антенны» в NRT-на фоне невроза (20мин/день)	до	0.85±0.07	0.88±0.05	0.74±0.02	0.79±0.1	0.88±0.1
		после	0.42±0.13 ***	0.39±0.2 ***	0.42±0.05 ***	0.46±0.09 ***	0.42±0.09 ***

Примечание:. * , **, *** -. p<0.05, P<0.01, P< 0.001, соответственно, по критерию Стьюдента, относительно периода – до. ●,■ – P<0.01 по критерию Стьюдента, относительно серий 1, 2,3,4, соответственно. Наименование структур мозга (в соответствии с сокращениями) приведено в примечании к таблице 31.

Сходные данные (относительно эффективности воздействий) были получены и при анализе коэффициентов кросскорреляций между показателями суммарной биоэлектрической активности коры и подкорковых образований (таблица28). В этих отделах мозга при данном неврозе достоверно усиливается сходство биоэлектрических процессов в один и тот же момент времени. Этот показатель (как и предыдущий) имеет тенденцию к нормализации в результате корректирующих воздействий. У нормальных здоровых кроликов сходство биопотенциалов коры и подкорковых структур является незначительным (КК, главным образом, 0.3-0.4). Ложные воздействия в данном случае не приводили к достоверным результатам (серия 1). При развитии экспериментального невроза сходство биопотенциалов в анализируемых структурах резко возрастает (КК усиливаются до значений 0,7-0,9), что является достоверным и сохраняется после 10 дней ложных воздействий (серия 2). Все три варианта (предполагаемо корректирующих) воздействий снижали КК, но в различной степени. Как и при оценке тэта-активности, минимальный и сходный результат получен в сериях с аминазином и с раздражением током микрополяризациии ретикулярной формации среднего мозга. Достоверные изменения отмечены (как и в случае тэта-активности) только в гиппокампе и септуме. Эти данные статистически значимо различали серии 3 и 2, однако показатели не соответствовали значениям нормы (серия 1). В большей степени к ним приблизились значения КК, полученные в результате облучения головы кролика ЭМП в режиме модуляции в диапазоне альфа ритмов ЭЭГ (серия 4). После 10 дней таких воздействий, достоверное снижение КК наблюдалось во всех рассматриваемых комбинациях, что свидетельствовало о снижении сходства биопотенциалов в различных структурах мозга.

Практически полное возвращение к нормальным значениям по данному показателю отмечено в следующей серии с ЭМП в непрерывном режиме, но в условиях вживленного в NRT металлического электрода (серия 5). Полученные результаты достоверно отличались от всех серий, выполненных на кроликах, находящихся в состоянии экспериментального невроза (серии 2, 3, 4) и не отличались от соответствующих значений в условиях нормы.

Параллельно с биоэлектрической активностью головного мозга проводили анализ показателей дыхания (рис.32) и двигательных проявлений (рис.33)

Характерные для невроза высокие значения частоты дыхания, их разброс (большие ошибки к средним значениям), под влиянием воздействующих факторов (серии 3,4,5) несколько снизились, однако ни в одной из серий не достигли значений нормы (серия К1, контроль в условиях нормы). Статистически значимые различия периодов до и после купирующих процедур

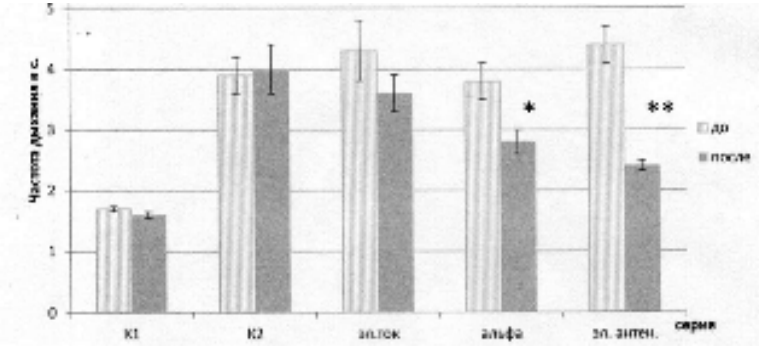


Рис.32. Сравнительная характеристика изменения частоты дыхания до и после 10 суток воздействия в различных сериях

Примечание: по оси ординат – частота дыхания в секунду (приведены средние значения за 50 эпох анализа по 20с у 5 кроликов в период 5 мин наблюдения до и после воздействий в различных сериях); по оси абсцисс – условное обозначение серии, оно соответствует № серии п/п 1,2,3,4,5 в таблицах 31 и 32.; *,**p< 0,05, p<0,005, соответственно

наблюдали только в сериях 4 и 5 (соответственно, » альфа» и «эл.антен.» , рис.32), с большей статистической значимостью в последнем случае.

Анализ миограммы, которая в состоянии экспериментального невроза характеризовалась усилением отдельных непроизвольных всплесков (мышечных подергиваний, рис.31), представлен на рис.33.

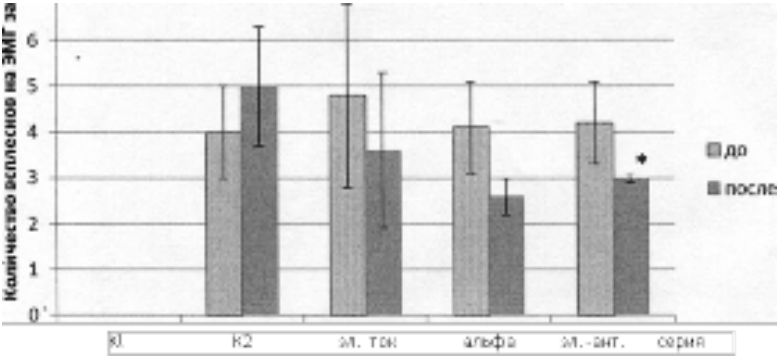


Рис. 33. Сравнительная характеристика количества всплесков на ЭМГ кролика в различных сериях

Примечание: по оси ординат – среднее количество всплесков на ЭМГ (приведены средние значения за 50 эпох анализа по 20 с у 5 кроликов в период 5 мин наблюдения до и после воздействий в различных сериях); по оси абсцисс – условные обозначение серий

У кроликов в состоянии нормы (серия К1) таких явлений, практически, не наблюдалось. В состоянии экспериментального невроза их количество статистически значимо увеличилось, о чем свидетельствует период до на-

чала корректирующих воздействий (серии 2÷5, период «до»). После десяти дней ложных процедур, их количество (хотя и не достоверно) несколько возросло, тогда как при всех купирующих воздействиях – снизилось, особенно в серии с облучением ЭМП при наличии электрода «антенны».

Наибольший интерес, конечно, представляли показатели условных двигательных ответов. Их анализировали в течение двух недель после сеанса процедур, направленных на купирование невротических нарушений. Как показано в таблице 29, в условиях нормы прочность условных реакций была высокой, практически, одинаковой в первую и вторую неделю наблюдения в серии 1 (около 90%). При экспериментальном неврозе эта величина значительно ($p<0.01$) снизилась, сохраняясь такой и после ложных воздействий (21% – 29%). Введение аминазина достоверных отличий от предыдущих значений не показало. Раздражение NRT током микрополяризации (серия 3), не смотря на слабые изменения по всем остальным показателям, в данном случаев, в первую неделю после сеанса вызвало статистически значимое повышение количества правильных условных ответов (45±1.8 % относительно 21±3.5%, $p<0.05$). Однако во вторую неделю эта величина снизилась до 30±5.1%, что характерно для экспериментального невроза. Похожий результат наблюдали и при облучении ЭМП в условиях электрода «антенны»

Таблица 29 Количественная характеристика условных двигательных ответов за 50 применений условного стимула в %% в течение двух недель после 10 дней купирующих воздействий в различных сериях

Период анализа после 10 дней воздействий	процент условных двигательных ответов в экспериментальных сериях:					
	контроль, норма	контроль, невроз	аминазин 15мг/кг, в/м, 1р/день	эл.раздр. NRT	ЭМП.НР +эл. «антенна» в NRT	ЭМП,МР. в альфа диап. ЭЭГ
1-ая неделя	87±0,5	21±3,5	30±5,8	45±1.8*	53±2,6*	58±4,2*
2-ая неделя	86±1,8	29±4	28±3.5	30±5.1	40±3,9	60±3,8 •

Примечание: подробности воздействий приведены выше в тексте; представлены средние данные за 50 применений условного сигнала в период тренировки условного рефлекса в течение 2-х недель. *, •$p<0,05$, относительно серий 1,2,3; всех серий, соответственно; выделен наиболее эффективный вариант.

Выделяется среди всех вариантов купирующих воздействий применение ЭМП модулированного в режиме свипирования частот в альфа диапазоне. Статистически значимое увеличение количества правильных ответов наблюдали в первую и вторую недели после 10 дней соответствующих про-

цедур. Результат второй недели статистически значимо отличает эту серию от всех остальных. Однако следует отметить, что ни одна из процедур, направленных на купирование нарушений, вызванных экспериментальным неврозом, не привела к полной нормализации условно-рефлекторной деятельности (серия 1).

В литературе описаны различные модели экспериментального невроза у кроликов в оборонительной ситуации (работы И.П. Павлова, его учеников и последователей). Показана возможность получения такой патологии путем сшибки или переделки сигнального значения условных раздражителей, при сочетании несогласованных ритмов, а также в процессе выработки следового электро-оборонительного рефлекса. Наша модель отличается от них своей причиной и, следовательно, механизмом возникновения нарушения. В основе – сильная эмоциональная реакция, типа страха. При этом нарушение может возникнуть скорее (возможно, моментально), запечатлевается более ярко и сохраняется более длительно. При такой форме невроза корреляты в биоэлектрической активности мозга, дыхании, электромиограмме, практически, не описаны, тогда как их выявление может помочь в разработке методов купирования этого нарушения. В нашем случае характер изменений в каждом (отдельно взятом) показателе не являлся специфическим, свойственным только данной форме экспериментального невроза. В литературе широко отражен факт усиления тэта – диапазона ЭЭГ и частоты дыхания при повышении эмоционального напряжения, двигательного беспокойства, в стрессовых ситуациях [71-73 и др.]. Однако в отличие от кратковременного эмоционального напряжения в норме при экспериментальном неврозе животное пребывает в длительном эмоциональном напряжении, хроническом страхе перед болью. Высокие значения показателей сопровождались постоянной изменчивостью, что отразилось в больших ошибках к средним (рис.32, рис.33). В анализируемой модели невротического нарушения параллельно с хаотичностью, наблюдаемой по показателям: пневмограммы, ЭМГ, ЭЭГ – отмечено усиление сходства биоэлектрических процессов в коре и подкорковых структурах в один и тот же момент времени[63, 67]. Усиление сходства биоэлектрических процессов в различных областях коры описано у людей, больных неврозом. По мнению М. Н. Ливанова [1], Н.П. Бехтеревой и коллег[44], это можно объяснить созданием патодинамической структуры, которая включает в себя «заинтересованные» точки коры и подкорки и проявляется как доминанта. Создаются условия, облегчающие распространение возбудительного процесса между этими структурами.

Попытки нивелировать возникшие нарушения основаны, прежде всего, на данных о механизме формирования и нарушения эмоциональных реакций. Хорошо известно, что лимбическая система во главе с гиппокампом,

гипоталамические и амигдалярные структуры принимают в этом непосредственное участие [71- 73 и др.]. В биоэлектрической активности гиппокампа и амигдалы наблюдались наиболее интенсивные изменения частотных спектров. В наших экспериментах при неврозе (в отличие от нормы) большее число структур отвечало на раздражение переднего гипоталамуса и дорзального гиппокампа, подчеркивая заинтересованность этих структур в развитии данной патологии.

Известные реципрокные отношения между гиппокампом и ретикулярной формацией среднего мозга послужили основанием для стимуляции последней с целью снижения возбудимости гиппокампа. Как показано в настоящей работе, раздражение электрическим током NRT (5-6V) в течение 10 дней по 20с вызывало снижение: энергии тэта-диапазона в гиппокампе и септуме; сходства процессов между корой и этими структурами; хаотичности колебаний этих показателей. Однако эти величины не возвращались к норме, как и показатели: дыхания, ЭМГ и двигательных рефлекторных ответов. В совокупности, это может говорить только о положительной тенденции.

Попытка изменить ситуацию, сложившуюся при экспериментальном неврозе, используя ЭМП нетепловой интенсивности в режиме модуляции в диапазоне альфа – ритмов ЭЭГ, оказалась более успешной. В этом случае характер изменений в каждом (отдельно взятом) показателе не являлся специфическим, свойственным только данному способу купирования экспериментального невроза. Однако положительную тенденцию отмечали по всем анализируемым показателям, что в некоторых случаях было наиболее выражено относительно других способов купирования.

При введении аминазина наблюдается ослабление: эмоционального напряжение, тэта-активности в ЭЭГ, но (вместе с тем) и условных поведенческих оборонительных реакций. Как известно, аминазин избирательно подавляет лишь оборонительное мотивационное возбуждение, не затрагивая пищевого и ориентировочного [24,25,70,71]. Возможно, это и было причиной того, что в этой серии наблюдали достоверное (сравнимое с серией 3) снижение тэта активности в биопотенциалах мозга и отсутствие изменений по всем остальным показателям. Более того, это – единственная серия, где не было значимых изменений в условной двигательной оборонительной реакции.

Полученные положительные результаты в каждой из серий могут рассматриваться только как накопление экспериментальных данных по сложной проблеме патологии и терапии неврозоподобных состояний.

Пути усиления биологической значимости слабых ЭМВ приводят к выходу реакции за пределы ЦНС, формируя ответ организма, который может содержать некоторые отклонения от нормы. В монографии 2015г описано

и на рис. 28 представлено усиление ответа ЦНС в виде судорожных проявлений при облучении головы кролика слабым ЭМП на фоне послеоперационного стресса. Последний имел место через 0.5ч после вживления в кость черепа неметаллических электродов. Подобные реакции ЦНС наблюдали и у абсолютно нормальных животных, используя металлические электроды (рис. 28). Эта серия работ включала две группы экспериментальных исследований на 50 взрослых кроликах – самцах породы Шиншилла. Использовали одно и то же ЭМП: 10 ГГц, непрерывный режим, ППЭ 200 мкВт/см² – создаваемое высокочастотным генератором сигналов Г4-121 (производство СССР). Во время эксперимента голова кролика находилась в дальней зоне поля антенны, т.е. в области сформированной плоской электромагнитной волны. Интенсивность неискаженного ЭМП контролировалась каждый раз перед началом экспозиции с помощью миллитесламетра ТП2-2У (Россия) и широкополосного измерителя Narda EMR-300 (ФРГ).

Первая группа экспериментальных исследований преследовала цель – выявление различий в показателях ЭЭГ при действии ЭМП единой характеристики, но с металлическими или неметаллическими электродами и проводами. Экспозиция – 5 мин, которую предъявляли каждому кролику 10 раз с интервалами 5÷15мин с целью проявления кумуляции эффекта. Было проведено три серии (каждая на 10 кроликах): с неметаллическими электродами и проводами; с неметаллическими электродами и металлическими проводами; с металлическими электродами и проводами. Металлические проводники были изготовлены из нихромовой проволоки в заводской лаковой изоляции (за исключением 1-3 мм кончиков, вживленных в кость, для отведения биопотенциалов). Неметаллические электроды и провода – хлорвиниловые трубки, заполненные физиологическим раствором на основе агар-агара [3]. В каждом случае записывали ЭЭГ от 5 основных областей левого и правого полушарий с ушными индифферентными электродами. Анализировали наличие ЭЭГ изменений по визуальным и спектральным характеристикам в период облучения и сразу после него относительно исходного фона.

Хорошо известно, что наличие металлических деталей, находящихся в контакте с биологическим объектом, может служить источником повышения падающей энергии или появления тока микрополяризации [76÷80]. Экспериментальное изучение, этого вопроса в литературе, практически, не описано. Полученные нами результаты свидетельствуют о ведущей роли именно электродов, вживлённых в кость над различными областями коры головного мозга. Используемое ЭМВ было настолько мало по своей энергетической и экспозиционной характеристике, что расположение металлических проводов (при неметаллических электродах) перпендикулярно силовым линиям поля не приводило

к усилению эффекта. Повторение 5-мин воздействий ЭМП в условиях неметаллических электродов и проводов или неметаллических электродов, но металлических проводов, могло повысить эффект только до раздражителя слабой или средней силы, соответственно. Именно электроды обеспечивают контакт с биологической тканью. В месте контакта металл – биологическая ткань может возникать ток микрополяризации, который (даже в своём минимальном выражении) способен выступить раздражителем для чувствительной нервной ткани, влияя на её функциональное состояние.

В связи с этим, нередко можно встретить упоминание, что при разговоре по мобильному телефону следует снимать очки с металлической оправой. Наличие подобной оправы, может играть роль вторичного излучателя и привести к увеличению интенсивности ЭМП, падающего на определенные участки головы пользователя, по сравнению со стандартной ситуацией. Существует несомненная опасность для людей, перенесших операцию по вживлению кардиостимулятора. Изготовители кардиостимуляторов предупреждают о соблюдении следующих требований: разговаривать, держа телефон на расстоянии не менее 15 см от кардиостимулятора, не носить телефон на груди и в нагрудном кармане.

Особенно опасно наличие сразу нескольких металлических электродов на голове, что обычно используют при записи ЭЭГ. В условиях слабого ЭМВ это может вызвать раздражение током микрополяризации одновременно нескольких точек мозга. В нашем примере (рис. 34) наиболее вероятной причиной развития судорожной активности (первая группа экспериментов) в серии с металлическими электродами и проводами является раздражение током микрополяризации одновременно по 5 точек в каждом полушарии. Как показано на рис. 34 в таких условиях на 6ое ÷ 10ое применение ЭМП развивается судорожная реакция (статистически значимая по группе кроликов, в 60-80%%). Отсутствие металла (неметаллические электроды и провода) не вызывало каких либо значимых изменений по группе животных. Только в единичных случаях можно было наблюдать усиление альфа активности на 8ое – 9ое применение ЭМП. Процент таких реакций возрастает в условиях использования металлических проводов, хотя электроды сохранялись неметаллические. Представленные результаты поддерживают (существующее в литературе) мнение о возможности отрицательного влияния на состояние организма слабых ЭМВ при наличии металла.

Возможность положительного и отрицательного влияний слабых ЭМП на живой организм является самостоятельной проблемой, которая в различных аспектах обсуждается в литературе. Магнитные и электромагнитные процедуры находят применение в физиотера-

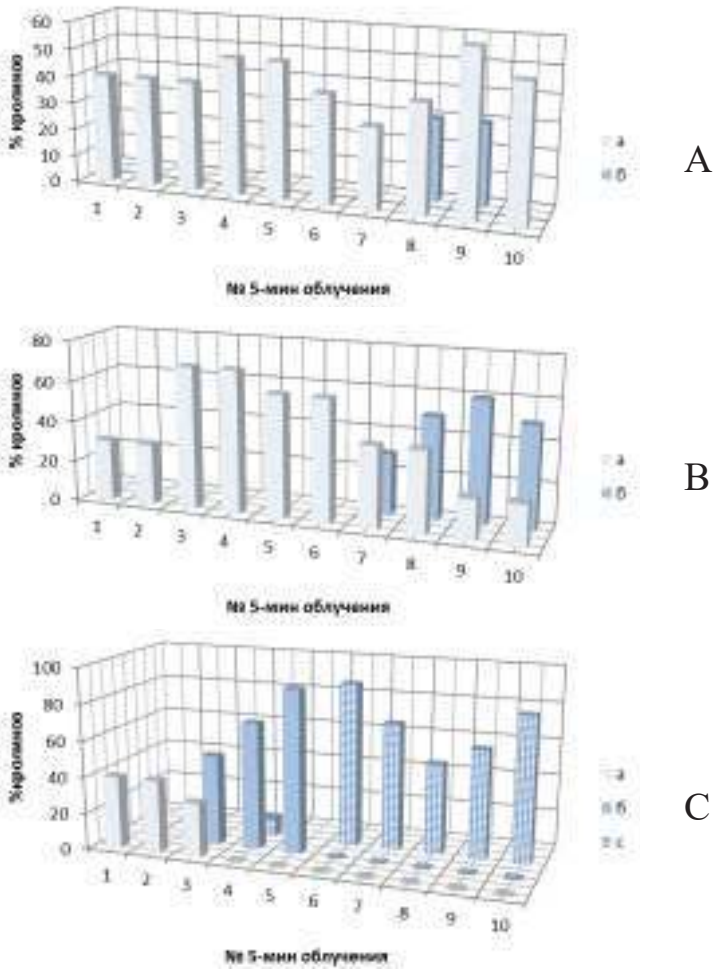


Рис.34 Сравнительная характеристика процента кроликов с реакциями по ЭЭГ показателю на ЭМП при наличии металлических и неметаллических проводников.

Примечание: А – неметаллические электроды и провода; Б – неметаллические электроды и металлические провода; В – металлические электроды и металлические провода ; а,б,с – усиление альфа активности, усиление тэта активности, судорожная активность, соответственно

певтической практике, требуя своего усовершенствования. Важным аспектом изучения являются условия электромагнитной обстановки, в которой живёт и работает человек, что находит отражение в гигиенической оценке. В плане развития этих направлений большое значение имеют не только эксперименты на животных, но и исследования с участием человека.

Раздел 5

Реакция мозга человека на слабое ЭМВ

Данные литературы дают представление о реакции мозга человека на острое и хроническое облучение ЭМП РЧ нетепловой интенсивности [2, 81÷84]. В настоящее время эта проблема сохраняет свою актуальность. Одним из насущных вопросов является прогноз ответной реакции организма человека на соответствующие воздействия с меняющимися режимами, структурами и условиями облучения, что наблюдается в быту и на производстве. Решение этой задачи, несомненно, имеет практическую значимость и требует накопления материала исследований.

Определяющее значение ЦНС в развитии биоэффектов ЭМП РЧ нетепловой интенсивности отводит ведущую роль изучениям реакций мозга на данное воздействие [2,81÷83]. Среди большого числа показателей активности мозга наиболее часто используемым и доступным является электроэнцефалограмма (ЭЭГ), в которой находят свои отражения врожденные и приобретенные особенности развития ЦНС и ее функциональные свойства. От исходной биоэлектрической активности в фоне может зависеть наличие, характер и выраженность ответа на слабые воздействия различных модальностей, в том числе и на ЭМП [3]. Основная реакция мозга (по показателю ЭЭГ) на острое воздействие ЭМП, не вызывающее регистрируемого нагрева ткани, сводится к усилению альфа диапазона [2,3,81]. Его выраженность в ЭЭГ коррелирует с функциональным состоянием организма, работоспособностью и влияет на реакцию на различные воздействия, в том числе и на ЭМП РЧ [3].

Важное значение для развития реакций мозга на ЭМП нетепловой интенсивности имеют: экспозиция, параметры, структура облучения, состояние здоровья, сопутствующие воздействия других модальностей [2,3, 81]. Каждый из отмеченных моментов необходимо учитывать при прогнозе возможной реакции мозга на новое воздействие соответствующей природы.

Данные литературы о результатах хронического облучения включают материал обследования работающих в условиях ЭМП РЧ, которые в связи с различными и меняющимися параметрами требуют постоянного анализа. Соответствующий обзор литературы представлен в ряде работ, в том числе, в диссертации врача – невролога Н.И. Карпиковой [85] и в совместной статье[86].

В собственных исследованиях основные параметры ЭМП (несущая частота, плотность потока энергии) находились в пределах радиочастотного диапазона нетепловой интенсивности, а главным предме-

том анализа была ЦНС. Полученные результаты дополняют данные литературы по ряду позиций: еще одни конкретные параметры и условия облучения; возможность оценки ЭЭГ в период экспозиции (путем замены металлических электродов); зависимость проявления реакции от типологических ЭЭГ-особенностей; значимость этих реакций для организма и возможность влияния на работоспособность. Представленный материал включает исследования с участием испытателей-добровольцев и результаты обследования работающих в условиях воздействия ЭМП РЧ нетепловой интенсивности. В центре анализа – ЭЭГ с параллельной регистрацией комплекса физиологических показателей для оценки изменений в состоянии организма.

В 11 сериях с участием 39 испытателей-добровольцев (практически здоровые мужчины в возрасте 25-40 лет) изучали биоэффекты ЭМП с различными режимами, параметрами и экспозициями (табл. 30). Это разнообразие СВЧ ЭМП создавали, используя промышленный генератор Г4–121(табл. 30) или абонентские терминалы трех стандартов сотовой связи. В последнем случае это были : GSM-900, DCS-1800, NMT с ППЭ на уровне головы – 52,17 мкВт/см², 61,25 мкВт/см², 78,93 мкВт/см², соответственно.

Таблица 30. Характеристика параметров ЭМВ в исследованиях с участием испытателей – добровольцев

Несущая частота, ГГц	Режим НР, ИР	Характеристика импульса			ППЭ в среднем, мкВт/см²	экспозиция, мин	количество	
		F,Гц	τ мс	ППЭ мкВт/см²			добровольцев	воздействий
1.5	НР 1				200	5	19	54
6	НР 2				300	5	20	67
1	НР 3				300	6-10 раз по 5	10	71
1.5	ИР 1. меандр	100	5	200	100	----«---«---	19	28
1	ИР 2	13→9 за 0,5 мин	25	200	52.5	-----«-----«---	10	89
1.5	ИР 3	0.12	16	300	0.58	15	10	15

Примечание: НР, ИР – непрерывный, импульсный режим, которые различались параметрами, указанными в таблице

Каждую серию с ЭМВ в рандомизированном порядке сопровождали контроли с ложным облучением различной длительности (однократно 5 мин или 6-10 повторов по 5 мин с интервалами 5÷15 мин).

Самостоятельная группа исследований сводилась к анализу функционального состояния испытателей в условиях облучения ЭМП РЧ в импульсном режиме ИР1 при функциональной нагрузке в виде 1,5-часового выполнения монотонной или активной работы оператора (19 испытателей). Работа заключалась в отслеживании (на экране телевизора) перемещения метки строго с точки на точку в условиях круговой траектории (монотонная работа) или случайно (активная работа). Пропуск контролируемого момента, а также лишние нажатия, не предусмотренные инструкцией, оценивались как ошибки.

Создание описанной рабочей модели, а также подсчет ошибок осуществлялись с помощью ПЭВМ по специально разработанной программе. Каждый испытуемый в случайном порядке мог принимать участие в различных сериях с интервалом в 1 неделю. В одном исследовании кратковременное облучение (5 мин или 15 мин) могли предъявлять от 2 до 10 раз с различными интервалами. Облучению подвергали, главным образом, голову человека, который комфортно располагался в кресле в изолированной камере, предназначенной для электрофизиологических исследований. Камера соответствовала и проведению исследований с ЭМП РЧ, т.е. была облицована радиопоглощающим материалом типа «Дон» на основе феррита с коэффициентом отражения –30дБ.

Функциональное состояние организма человека анализировали по комплексу физиологических показателей: ЭЭГ, реоэнцефалограмма, электрокардиограмма, электромиограмма, артериальное давление, пневмограмма, температура кожных покровов, тремор. Специально созданный аппаратурный комплекс из приборов японского и итальянского производства позволял записывать и анализировать указанные показатели непосредственно в процессе исследования. Анализатор ЭЭГ «Berg Fourier» (Италия) позволял в процессе исследования наблюдать динамические изменения спектров ЭЭГ с отражением переливов энергии по полосам, а также фиксировать частоты, доминирующие в той или иной полосе в любой заданный момент времени. Соответствующая информация была полезной при получении данных о типологических особенностях альфа диапазона ЭЭГ испытателей, используя известный клинический тест «открой – закрой глаза». Поскольку голова испытателя находилась в зоне действия ЭМП РЧ, то для записи ЭЭГ и РЭГ использовали, так называемые, безартефактные электроды и провода, которые ранее нами были неоднократно описаны.

Материал хронического действия ЭМП РЧ был получен врачом – неврологом Н.И. Карпиковой [85] в результате обследования научных сотрудников ВНИИЭФ. Из них 53 человека работали с устройствами, генерирующими СВЧ ЭМП, а 30 составили контрольную группу, которые отличались только тем, что не работали с данными генераторами. Облучаемая группа 80% рабочего времени находилась в ближней зоне СВЧ ЭМП (1 ГГЦ, пачечно-импульсный режим: частота пачек составила 32 Гц, импульсов – 250 кГц при длительности 32 мкс). Колебания ППЭ на рабочем месте могли составить (в связи с ближней зоной) от 0,34 мкВт/см² до 314 мкВт/см2 за период 5–8 часов в сутки. При этом мода в кривой распределения этих значений приходится на 0,7 мкВт/см² .

Обследуемые – мужчины (24-60 лет), проработавшие на данном объекте от 1 года до 35 лет. Материал накоплен за 20 лет в результате ежегодных обследований. В итоге было сформировано 4 группы в соответствии со стажем работы: до 5лет (основная и контрольная группы по 10человек); до 15 лет (соответственно, 14 и 7); до 25лет (24 и 6); до 35 лет (15 и 17).

Процедура обследования включала: неврологический мониторинг, запись РЭГ, ЭЭГ, ЭКГ. Каждый из методов не выходил за рамки традиционно используемых и принятых при данных исследованиях. В монографии представлен только итоговый результат совместных неоднократных обсуждений, связанный с зависимостью неврологических проявлений у работающих от стажа.

Результаты исследований с участием добровольцев дополняют имеющиеся сведения о нейроэффектах ЭМП РЧ нетепловой интенсивности, развивая представление о зависимости от параметров и биологической значимости воздействия для организма человека. Кратковременное облучение преимущественно головы человека ЭМП РЧ с различными параметрами (табл.30) вызывало статистически значимые изменения по группе испытателей только в биоэлектрической активности головного мозга. Основная форма реакций во всех случаях (несмотря на новые и разнообразные параметры) была однотипной, сохраняясь такой, какой она выше (раздел 2) была описана. Изменения в ЭЭГ сводились к усилению альфа- и бета1-диапазонов, что лучше проявлялось сразу после экспозиции (рис. 35).

Индивидуальная статистическая оценка по комплексу показателей выявила единичные случаи достоверных изменений и по другим показателям. Можно было наблюдать достоверное снижение частоты пульса на 5–10 уд./мин, температуры кожных покровов на 1–2°С, амплитуды основной РЭГ-волны на 0,02–0,04 Ом и частоты дыхания. Каждое из этих изменений не выходило за пределы физиологической нормы, и не было статистически значимым по группе испытателей. Приведенная характеристика реакции организма человека была характерна как для однократной 5–6-минутной

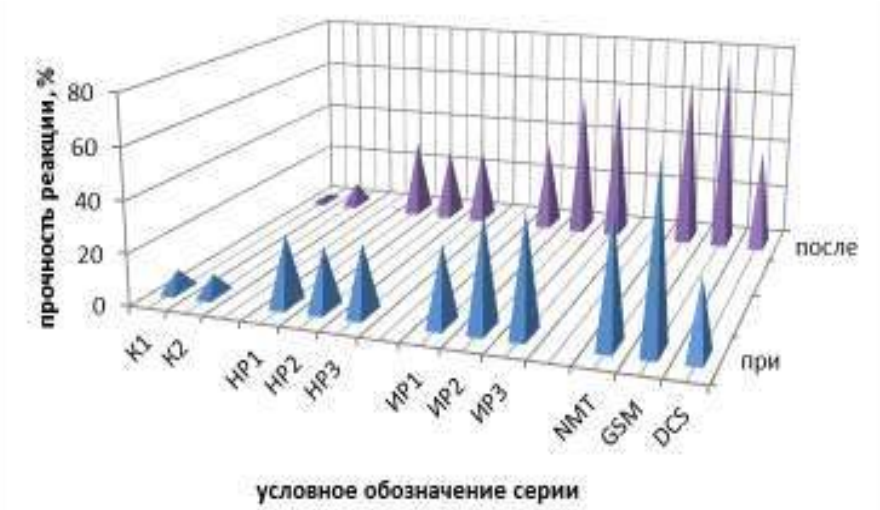


Рис. 35 Сравнительная характеристика процента ЭЭГ изменений у испытателей в сериях с ЭМП в период экспозиции и непосредственно после.

Примечание: параметры электромагнитных воздействий приведены в таблице 30; К1 и К2 – контроли с ложным включением ЭМП, в каждой серии n>10<20

экспозиции, так и для более длительного воздействия (15 мин, 50 мин, непрерывно или дробно, табл. 30). Различия наблюдали только в количестве ЭЭГ-изменений, свидетельствуя о большей эффективности дробного облучения и импульсного режима.

Особенность режима (в частности, ближняя зона), которая присутствовала в случае ЭМП РЧ, создаваемых абонентскими терминалами сотовой радиосвязи стандартов GSM-900 и NMT-450, не влияла на феноменологию основной реакции. Однако процент этих изменений был существенно больше, чем при всех остальных вариантах (рис.35). Необходимо отметить, что реакция (в небольшом проценте случаев) могла заключаться в усилении и других диапазонов ЭЭГ, что особенно четко проявилось в серии «DCS-1800». В этом случае у 30% испытуемых повышался индекс не альфа-, а тэта-диапазона, что можно было бы рассматривать как более сильное воздействие. Важно, что каждая из отмеченных реакций не выходила за пределы физиологической нормы, носила временный характер, соответствуя данным литературы. Основная форма реакции чаще ограничивалась одной областью – теменно-затылочной (альфа-диапазон), или лобной (бета1-диапазон), что не сопровождалось изменением пространственной организации биопотенциалов.

Приведенная совокупность результатов свидетельствовала о биологической значимости изучаемого воздействия как о слабом неспецифиче-

ском раздражителе для ЦНС. Это подтверждает и тот факт, что в первые 5 мин после выключения поля реакции наблюдались чаще (рис.35) и реализовывались со своими латентными периодами. Именно эта особенность свидетельствовала о том, что это не были ответы на выключение ЭМП или остаточные явления, наблюдаемые после экспозиции. При экспозиции и после выключения моды в кривых распределения латентных периодов были сходными (5–10 сек) и основная масса реакций осуществлялась в течение 1мин (рис. 36).

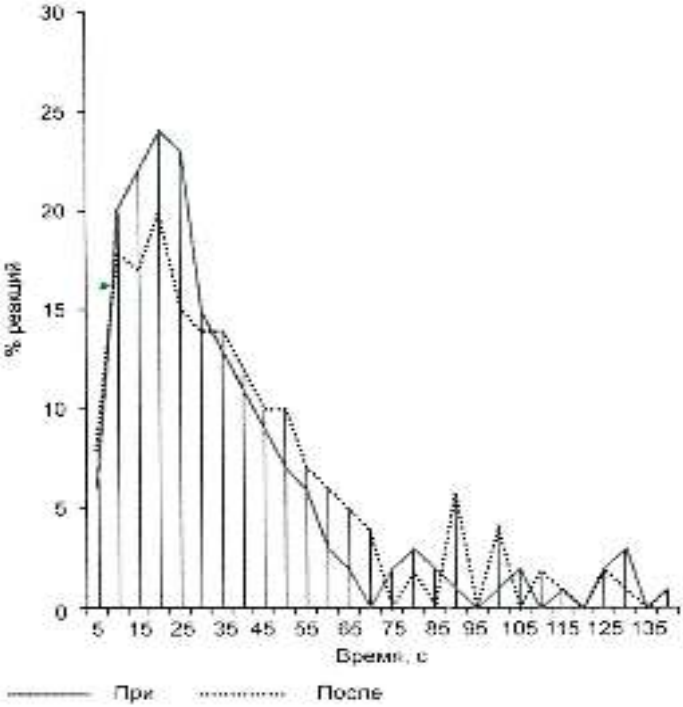


Рис. 36 Кривые распределения латентных периодов ЭЭГ изменений в теменно-затылочной области коры головного мозга испытателя в период экспозиции и сразу после выключения ЭМП

Примечание: приведены суммарные данные по однократным кратковременным облучениям ЭМП различных режимов, полученные в исследованиях на 39 испытателях.

Характеризуя реакцию мозга на кратковременное облучение, нельзя не отметить отсутствие существенного влияния частот несущих и модуляций в используемых вариантах воздействий. Сходные результаты на те же самые воздействия описаны и в экспериментах на кроликах,

подчеркивая ведущую роль биологической значимости воздействия. В наших экспериментах на кроликах показано, что усилению альфа диапазона ЭЭГ (как реакции на ЭМП) соответствует снижение частоты повторения импульсов активности нейронов, т. е. усиление процессов торможения в ЦНС. Подобную реакцию может вызвать любой слабый (скорее, подпороговый) раздражитель, что трактуется как адаптационный ответ в виде охранительного торможения [61,63]. Именно для подпороговых раздражителей характерно большее проявление реакции после их отмены, чем при экспозиции [61].

Ведущая роль альфа диапазона ЭЭГ в реакции мозга на ЭМП РЧ и зависимость изменений от фона, послужили основанием для его детального анализа. Заслуживал внимания тот факт, что для практически здоровых людей характеристика альфа диапазона в спектрах ЭЭГ при открытых и закрытых глазах у одного и того же испытателя была постоянной вне зависимости от даты наблюдения. Эта неоднократно воспроизводимая картина отражает индивидуальную типологическую особенность ЭЭГ человека. Детальная характеристика альфа-диапазона ЭЭГ в фоне при открытых и закрытых глазах представлена выше в таблице 9. Она позволила разделить всех испытателей на 4 группы, которые различались и по реактивности ответа на сотовый телефон. 100% испытателей 2-ой группы (хорошо выражен альфа диапазон ЭЭГ) реагировали на соответствующее облучение головы, тогда как в группе 4 (слабо выражен альфа диапазон) реакция отсутствовала. У испытателей с IV типом ЭЭГ в фоне доминировал не альфа, а тэта-диапазон, свидетельствуя о состоянии умеренной активации, напряжения ЦНС. Это были люди, которые даже в спокойных комфортных условиях не способны расслабиться, продолжали решать свои проблемы.

Сходный результат был отмечен и в экспериментах на кроликах. На фоне умеренной выраженности альфа-диапазона реакция на постоянное магнитное поле и ЭМП РЧ (в виде увеличения числа «веретен» в альфа и бета1-диапазонах) присутствовала, тогда как доминирование в фоне тэта и бета 2 препятствовало ее проявлению [3].

По данным литературы [84], картину изменений ЭЭГ в виде усиления альфа диапазона может вызвать и монотонная однообразная работа, которая не требует умственного и эмоционального напряжения. В результате такого рода деятельности возможно развитие функционального состояния в виде выраженного утомления или монотонии. В результате возникновения монотонии человек становится вялым, безучастным к работе, снижается общий уровень активности, скорость реакции, ухудшается внимание, снижается чувствительность к внешним раздражителям. Отличительной особенностью состояния монотонии от усталости

является то, что силы организма ещё не израсходованы, т.е. оператор не чувствует себя уставшим, но при этом качество деятельности значительно ухудшается [Ильин, 2005].

В наших исследованиях с участием 19 испытателей оценивали комплекс физиологических показателей в процессе 1,5-часового выполнения монотонной или активной работы в условиях ЭМП по сравнению с соответствующим контролем (таблица 31).

Таблица 31 Влияние ЭМП на функциональное состояние испытателя в условиях операторской деятельности

	Коли-	% испытателей с достоверными изменениями показателей					
Серия	чество испыта-телей	ЭЭГ	ККЭЭГ Fr-Or	частота пульса	РЭГ	АД	t0 кож-ных по-кровов
«К»	19	26,3↑α	15,7	21,1	15,7	5,3	15,7
«МР»	19	36,8↑α	36,8*	15,7	21,1	15,7	26,3
«МР + ЭМП»	19	68,4 ↑α**	68,4 **	52,9**	52,9**	47,4**	68,4**
«АР»	10	70↑Ѳ*	50	40	30	10	30
«АР + ЭМП»	10	60	30	40	30	0	30

Примечание: «К» – 1,5-часовое пребывание в экспериментальной обстановке без выполнения работы; «МР» – монотонная работа; «МР + ЭМП» – монотонная работа на фоне облучения ЭМП РЧ в режиме модуляции меандром («ИР1»); «АР» – активная работа; «АР + ЭМП» – «АР» на фоне облучения ЭМП РЧ в режиме модуляции меандром («ИР1»); КК – коэффициент кросскорреляции; *,** -р <0.05 по χ 2 относительно серий «К», «К» и «МР, соответственно.

В контроле с ложным включением ЭМП результаты свидетельствовали об отсутствии изменений в функциональном состоянии организма (по комплексу показателей) при 1.5-часовой активной или монотонной работе.

Статистически значимые изменения можно было наблюдать только в ЭЭГ. Как и следовало ожидать, они носили противоположный характер. В случае монотонной работы увеличивался индекс частот альфа диапазона, а при активной – тэта. Успешность выполнения работы и функциональное состояние испытателя зависели от типологических особенностей ЭЭГ, что отражалось и в количестве ошибок (рис. 37, рис. 38).

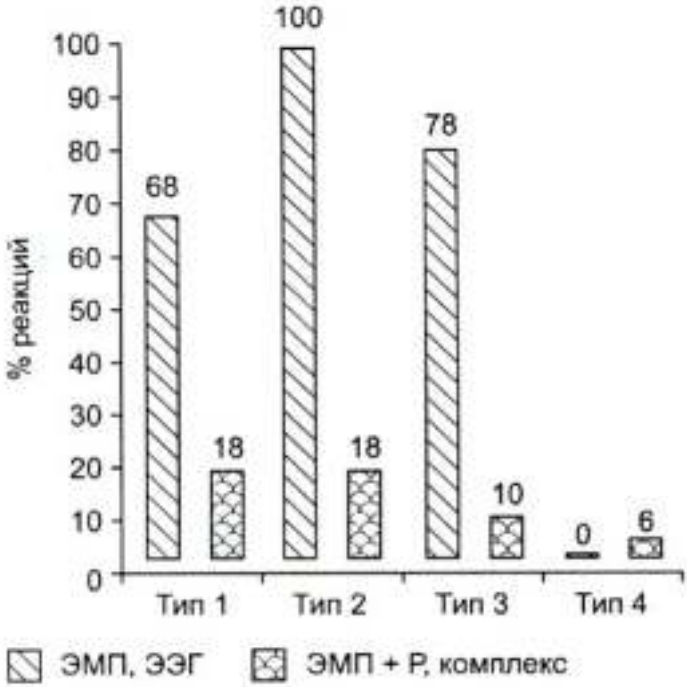


Рис 37 Сравнительная характеристика реакций по ЭЭГ показателю и их комплексу относительно типов ЭЭГ в сериях «ИР1» и «МР+ЭМП»

Примечание: приведены проценты только статистически значимых изменений по сравнению с контролем

Например, в условиях монотонной деятельности ошибок было выше у испытателей с четвертым типом ЭЭГ, чем с первым (14,0 ± 0,21 и 9,8 ± 0,12 соответственно). Этот результат можно объяснить тем, что альфа- диапазон – это не только провокация дремотного состояния, но и состояния успокоенности, комфорта [61, 84]. Последнее способствует более четкому и стабильному выполнению определенных видов деятельности. При активной работе больше ошибок совершали испытатели с I и IV типами ЭЭГ. ЭМП в режиме «ИР 1» в условиях активной работы не проявляло своего влияния, ни по одному из анализируемых показателей не отмечено статистически значимых изменений (табл. 32). Они имели место только в случае монотонной деятельности.

Единичные случаи склонности к развитию монотонии (как неблагоприятное функциональное состояние) наблюдали только у испытателей с I типом ЭЭГ (5 из 9), т. е. с наиболее выраженным альфа-ди-

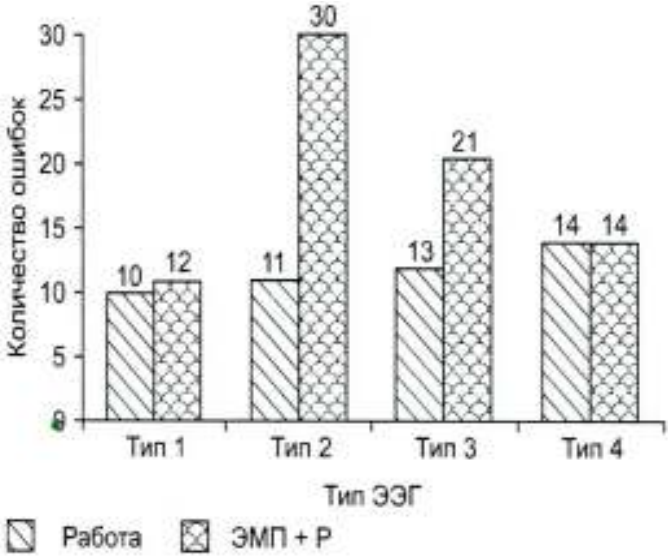


Рис. 38 Количество ошибок в операторской деятельности в зависимости от типологических особенностей ЭЭГ испытателей в условиях монотонной работы на спонтанном фоне и на фоне облучения ЭМП.

Примечание: Работа – однообразная работа оператора в течение 1.5 часа на спонтанном фоне; ЭМП+Р – та же работа на фоне ЭМП в режиме ИР1(таблица 34).

апазоном. Зависимость от типологических особенностей ЭЭГ в этой серии («МР + ЭМП») проявилась несколько иначе – наибольший процент реакций наблюдали у испытателей с I и II типами ЭЭГ. Такая типологическая особенность предполагает способность к развитию соответствующих отклонений в функциональном состоянии ЦНС. На рисунке 35 приведена эта зависимость для наиболее значимых изменений: ЭМП – только ЭЭГ; «МР+ЭМП» – реакция по комплексу показателей, что отразилось и в количестве ошибок (рис. 37, рис.38). Комбинированное действие монотонной работы и ЭМП, каждое из которых способно вызвать усиление альфа диапазона ЭЭГ, может оказать биологически более значимое влияние на функциональное состояние организма. Однако статистически значимого развития монотонии по группе испытателей не наблюдалось. В противоположность сказанному, на фоне активной работы, вызывающей повышение индекса тэта-диапазона в ЭЭГ, влияние ЭМП в режиме «ИР 1» не проявлялось.

Результаты обследования людей, работающих в условиях электромагнитных воздействий, получены врачом неврологом Н.И. Карпи-

ковой [64,85,86]. Они показали возможность развития изменений в состоянии организма человека в зависимости от стажа работы. В клинической симптоматике ведущими были субъективные жалобы и изменения в двигательной сфере (табл.32).

Феноменология жалоб и преобладающий характер изменений в двигательной сфере (снижение сухожильных и периостальных рефлексов) свидетельствуют о развитии синдрома полинейропатии. РЭГ и реовазография показали нарушение кровенаполнения сосудов головы и конечностей, что в совокупности с повышением АД, свидетельствует о формировании синдрома вегето-сосудистой дистонии. На ЭЭГ наблюдали десинхронизацию ритмов альфа диапазона (39,6%,контроль –6,7, $P < 0,05$) и диффузную дизритмию (20,8%, $P < 0,05$ относительно контроля). Это позволяет предполагать изменение взаимоотношений между корой и рядом подкорковых структур, что может быть основой полисистемного генеза синдрома вегетососудистой дистонии.

Важно отметить, что у людей, работающих в данных условиях, воздействию подвергались, главным образом, руки, а не голова как в вышеописанном исследовании с испытателями. Непосредственное действие ЭМП на поверхность кожи и находящиеся там рецепторы скорее приводит к усилению в ЦНС процессов десинхронизации биоэлектрической активности мозга, а не синхронизации [2]. Это и было отмечено в настоящей работе.

Таблица 32 Сравнительная характеристика неврологических проявлений в группе работающих с СВЧ- облучением и в контроле

Субъективные ощущения	феноменология	
	Работающие с СВЧ ЭМП (п-53), 500 обследований	Контроль (п – 30), < 300обследований
головная боль	**50.9 ****	16.7
слабость, утомляемость	**49 ****	6.7
бессонница	**26.4 ***	6.7
раздражительность	**26.4 ***	6.7
боли в пояснице	**24.5 ***	6.7
головокружение	**20.8 ***	0
снижены сухожильные и периостальные рефлексы	**86.8 *****	6.67
не вызываются брюшные рефлексы	**15.1 ***	0
снижена реакция зрачков на свет	**49.0 ****	0
горизонтальный нистагм	**52.8 ****	0

Примечание: *, **, *** -$P<0.05$, $P<0.01$, $P<0.001$ относительно контроля по точному методу Фишера

Проведенное клиническое обследование позволило представить основную феноменологию возможных расстройств у людей, работающих в условиях ЭМП: синдром вегето-сосудистой дистонии; астенический синдром; синдром вестибулопатии; синдром полинейропатии. В зависимости от стажа работы неврологический статус изменялся, свидетельствуя о нарастании симптоматики. На рис. 39 показано, на каком этапе работы какие симптомы впервые значимо больше выражены, чем в контроле, хотя в меньшей степени их можно видеть и на других этапах.

Рис. 39 Проявление симптомов в зависимости от стажа работы в условиях ЭМП

Примечание: А – снижение сухожильных и периостальных рефлексов; В – наличие жалоб: С. – десинхронизация альфа ритма; Д снижение интенсивности кровоснабжения; Е-повышение тонуса РЭГ; F – диффузная дизритмия; G –замедление клиностптического рефлекса. Стаж: 1 (1-5 лет), 2(6-15 лет); 3(16-25 лет);4 (26-35 лет). Приведены только статистически достоверные изменения относительно контроля.

Так, на головные боли жаловались 25% работающих со стажем 1–5лет, при стаже 6–15лет – 30%, у работающих 16–25 лет количество жалоб достигает апогея – 62,5% (P < 0,01, относительно контроля); 26–30 лет – 53,3% (P < 0,01, относительно контроля).

Со стажем работы усиливалось количество жалоб и иного рода: на бессонницу (5–15лет), головокружение и боли в области сердца (16–25 лет), онемение рук и ног, слабость и утомляемость (26–35 лет). Двигательные расстройства в виде снижения сухожильных и периостальных рефлексов появляются на первом этапе работы, сохраняясь при ее продолжении до 35 лет (75–93,3%, P < 0,01, относительно контроля). Уменьшение интенсивности кровоснабжения конечностей (по данным

реовазограмм) появляется на втором этапе (6–15 лет, 70%, P< 0,01,относительно контроля) и сохраняется на этом уровне при продолжении работы до 35 лет.

Временная утрата трудоспособности за последние 5лет у работающих в условиях ЭМП отмечена в 266 случаях (1442 дня на 100 человек). При этом в контрольной группе – 177 случаев (1083 дня на 100 человек). Нозология заболеваний сводилась, главным образом, к ОРЗ, однако в 5,7% случаев отмечена НЦД и гипертоническая болезнь, что в контрольной группе не наблюдалось. Феноменология и возможный генез изменений носили неспецифический характер. На этом основании, Н.И. Карпиковой (как врачом – неврологом) была проведена терапия и профилактика, обычно используемая в случае подобных неврологических расстройств [85]. Это были медикаментозные и немедикаментозные методы лечения, которые применялись ранее и применяются сейчас при соответствующих нарушениях неспецифического характера, а также некоторые новые варианты, например, ноотропил и нормобарическая гипоксическая стимуляция «горный воздух». Этот комплекс мероприятий дал положительные результаты: у 95% работающих с ЭМП РЧ отметили улучшение самочувствия.

Настоящее исследование только подтверждает данные литературы, добавив новые варианты ЭМП-облучения и новые показатели реакции. Совокупность материала обосновывает заключение о том, что ЭМП РЧ нетепловой интенсивности может вызывать статистически значимые изменения в показателях жизнедеятельности организма. Однако их биологическая сущность различна, что в наибольшей степени определяется длительностью облучения, индивидуальными особенностями, наличием дополнительной нагрузки. Так, кратковременные облучения с различными параметрами могли изменять только биоэлектрическую активность головного мозга. Их характеристика: феноменология, латентный период, зависимость от фона и типологических особенностей ЭЭГ, больший процент изменений сразу после выключения, чем при экспозиции, соответствует ответу на слабый (скорее, подпороговый) раздражитель для ЦНС. В условиях дополнительной нагрузки (в частности, в виде работы оператора) данное воздействие может оказать влияние на успешность ее выполнения, что определяется характером деятельности.

Результаты обследования работающих в условиях СВЧ ЭМП, показали возможность развития неврологических нарушений в зависимости от стажа работы, характерно, что при ППЭ значительно ниже существующих нормативов. Феноменология нарушений соответствует неспецифической «картине» развития вегетативных дисфункций. Ряд симптомов

этого нарушения был описан клиницистами ранее для случаев СВЧ-облучения. В настоящей работе их дополняют синдромы полинейропатии, вестибулопатии.

На основании проведённой работы Н.И. Карпиковой (как врачом неврологом [85]) было предложено следующее.

1. Для лиц, профессионально связанных с импульсными СВЧ, необходимо учесть вероятность развития нарушений в деятельности нервной системы в результате длительной работы в ближней зоне с ППЭ на рабочем месте в пределах 0,34-314 мкВт/см².

2. В соответствии со стажем работы 1–5, 6–15,16–25 и 26–35 лет, может иметь место развитие: синдрома вегетативно-сосудистой дистонии по гипертоническому типу, синдрома вегетативно-сосудистой дистонии по смешанному типу и гипертонической болезни.

3. Расширить методический аспект медицинских осмотров в случае профессионального отбора для работы в условиях СВЧ, а также ежегодные обследования работающих, включая РЭГ, ЭЭГ, РВГ.

Раздел 6

Значение фундаментальных основ нейроэффектов слабых электромагнитных воздействий для их практического использования

Фундаментальная характеристика нейроэффектов слабых ЭМВ – это основа, необходимая для понимания наблюдаемых реакций и формирования новых. Конкретно представленная работа, касающаяся слабых ЭМВ, включает базовые показатели эффекта и пути его модификации. Базовые показатели характеризуют реакции здорового организма на ЭМВ нетепловой ППЭ в условиях непрерывного режима и короткой экспозиции. Пути модификации включают изменение: параметров ЭМП, экспозиции, функционального состояния биообъекта, фоновых условий воздействия (спонтанно или при нагрузке). Оба эти аспекта находят отражение в данной работе при изучении реакций на ЭМП в экспериментах на кроликах и исследованиях с участием испытателей-добровольцев.

Нетепловые ЭМВ находят практическое применение в различных областях: науке, гигиене, физиотерапии [87]. Научное направление – это разностороннее изучение феноменологии и механизмов ранее не известных ЭМВ и разработку новых (более целесообразных) для практического использования. Сохраняются вопросы о роли нейроглии и собственных полей биологических объектов в реализации нейроэффектов ЭМВ. Физиотерапевтическое и гигиеническое направления имеют уже древнюю историю и продолжают совершенствоваться, в связи с появлением новых видов ЭМВ.

Совокупность представленного материала дополняет существующее мнение о нейроэффектах слабых ЭМВ. Приведённые по ряду позиций результаты (феноменология, латентные периоды, зависимость от ППЭ, модуляции, организации ЭМВ и пути модификации) имеют непосредственное отношение к фундаментальной основе изучаемых эффектов. Данные о каждой из отмеченных характеристик можно встретить в работах и других авторов. Однако всегда сохранялись вопросы о правомерности сравнения результатов, полученных в различных условиях, различными авторами, что необходимо для создания единой научно обоснованной системы соответствующей области знаний. Представленные материалы, полученные в идентичных условиях, не оставляют сомнения, что это – неспецифический раздражитель для ЦНС. В своём влиянии на организм он подчиняется неспецифическим законам физиологии и может иметь различную биологическую значимость.

Показано, что ЭМП с одной и той же ППЭ в непрерывном режиме или в импульсе могут выступать как раздражители: подпороговые, слабые, средней силы, сильные. Показано большое сходство ЭЭГ – изменений у кроликов и испытателей даже при единых параметрах и условиях облучения, когда дозиметрия различна. Этот факт только подтверждает правильность отношения к изучаемому воздействию как к раздражителю для ЦНС. При таком подходе, очевидно, что механизм формирования реакции ЦНС определяется неспецифической адаптационной реакцией. Она может быть единой, вне зависимости от первичного физико-химического взаимодействия фактора с биологическим объектом. Основную роль играет биологическая значимость воздействия.

Базовые показатели реакций в условиях: здоровый организм, однократная короткая экспозиция, непрерывный режим – свидетельствуют о возможном проявлении ответов ЦНС как на подпороговые раздражители. Практически здоровые кролики могли проявлять ответ в период экспозиции, но только на уровне нейрона (рис.7). При анализе суммарной биоэлектрической активности реакция наблюдалась (в большинстве случаев) в первую минуту после выключения фактора, что показано в исследованиях на животных и с участием испытателей (рис.14, рис. 35). Подобную характеристику реакции могли вызывать и модулированные ЭМП в условиях однократной короткой экспозиции. Сопоставления этих результатов с соответствующими ответами на пороговые и подпороговые известные адекватные стимулы (свет, звук) свидетельствовали о биологической значимость ЭМП и ПМП как подпороговый раздражитель. Такое заключение следует и из сравнения полученных результатов с данными физиологов и психологов о реакциях ЦНС на неосознаваемые стимулы [20,80, 61]. Самые простые варианты воздействий ЭМП и ПМП вызывали аналогичные изменения в ЦНС по феноменологии, зависимости от интенсивности и (на определенном этапе) механизму возникновения.

При действии слабых и подпороговых ЭМВ (как и в случае стимулов другой модальности) определяющая роль в проявлении реакции, её феноменологии отводится исходному фону. Учитывая то, что поля действуют непосредственно на биологическую ткань (в частности, мозга) и не имеют определённого проводящего пути (как свет или звук), не удивительно, что именно степень активности структур в исходном состоянии определяет формирование внутрицентральных взаимоотношений [71,3,5]. Так на спонтанном фоне наиболее реактивное образование – гипоталамус; на фоне кофеина — кора; а на фоне адреналина – ретикулярная формация среднего мозга при действии одного и того же ЭМП с ППЭ $\leq$ 300 мкВт/см^2. Возможность стать условным сигналом

и оказывать влияние на вызванные ответы на свет и звук – ещё одно доказательство того, что мы имеем дело с обычным раздражителем для ЦНС. Основная характеристика реакции: усиление процесса торможения, большой латентный период, более частое проявление ответа сразу после выключения фактора, зависимость от исходного фона – носили оттенок специфичности только в конкретике количественных величин. Наличие этих эффектов (именно на однократные кратковременные воздействия) и их биологическая значимость определяются, не столько параметрами облучения, сколько исходным фоном (функциональным состоянием), типологическими особенностями [3]. Это обстоятельство диктует необходимость их учета при анализе любых вариантов практического применения ЭМП нетепловой интенсивности и короткой однократной экспозиции. Управляемый эксперимент с включением ЭМП только на фоне благоприятных спонтанных фрагментов, свидетельствовал о повышении процента реакций до 70–90%%. Это один из аргументов, который объясняет разноречивость данных литературы, казалось бы, на одно и то же воздействие.

Результат экспериментов на кроликах справедлив и для человека. Анализ типологических особенностей альфа диапазона ЭЭГ испытателей позволил оценить их способность реагировать на ЭМП сотовых телефонов. Этот вывод неоднократно был воспроизведён в наших исследованиях с участием одних и тех же испытателей и при сохранении условий ЭМВ. Зависимость от исходных фоновых характеристик проходит через всю работу, подчёркивая важность учёта этого показателя при практическом использовании слабых ЭМВ. Приятно отметить, что в медицинской практике физиотерапевтических процедур стараются учитывать этот факт, что нельзя назвать простым. Тем ни менее, от него зависит правильность оценки результата.

Таким же важным показателем является и ППЭ, т.к. в условиях слабых ЭМВ нет прямо пропорциональной зависимости эффекта от этой величины (в нашем случае – в пределах нетепловых значений 30÷500мкВт/см²). На это обращала внимание Елена Борисовна Бурлакова [52], подчёркивая, что такое явление специфическим для ЭМВ не является. Подводя итоги конференции «Сверхмалые уровни….», она отметила – это справедливо относительно любого по модальности, но низкого по энергетической характеристике, стимула. Тем ни менее, конкретные значения максимумов связаны с модальностью стимула и требуют изучения. Специфическим в каждом случае могут быть свои максимумы и минимумы, определяемые своеобразием развития реакций. Одни из таких максимумов ППЭ для слабых ЭМВ, выявленных в наших исследованиях, находились близко к 200мкВт/см² и 300мкВт/см², что учитывалось

в дальнейших исследованиях. Эти данные получены для условий непрерывного режима; при импульсном – средние величины ППЭ имеют меньшие значения, однако определяющую роль в проявлении эффекта играет соответствующая характеристика в импульсе.

Большой объём представленного материала существенно дополняет сведения о зависимости биоэффектов от режима облучения. Наличие модуляции даже при однократном коротком воздействии может повысить его биологическую значимость до адаптационного ответа на слабый (но пороговый) раздражитель. При этом важную роль может играть способ формирования модуляции электромагнитного сигнала [55]. Импульсный режим облучения может быть более эффективным. Его усложнение в виде пачечно-импульсного или способа формирования (обратная связь от волн ЭЭГ, свипирование частот в её диапазонах) статистически значимо усиливало эффект. Эксперименты с предъявлением СВЧ импульсов в режиме обратной связи от волн ЭЭГ, практически, доказали их способность усилить любой желаемый диапазон частот по механизму навязывания ритмов, подобно действию света, звука. Привлекает внимание способ предъявления СВЧ импульсов в виде плавного изменения частот в избранном диапазоне ЭЭГ, что также может быть источником их усиления в суммарной биоэлектрической активности мозга. При этом ППЭ в импульсе не изменялась, сохраняясь 200 или 300мкВт/см², тогда как в среднем (учитывая диапазон частот) эта величина всегда была ниже (4÷52, 150 мкВ/см²). Эти результаты ещё раз подтверждают мнение о ведущей роли режима облучения, а не энергетической характеристики в пределах нетепловых значений ППЭ.

Облучение ЭМП, формируемым одновременно несколькими несущими частотами – современная важная проблема, требующая своего изучения [66].Возможное (в данном случае) повышение биологической значимости ЭМВ может быть обусловлено одним из неспецифических механизмов – усиление генерализации синхронных биоэлектрических процессов в мозге. Как показано в наших исследованиях, этот механизм работает при использовании различных путей повышения эффективности слабых ЭМВ[41].

Вышеприведённые данные о разносторонней зависимости эффектов слабых ЭМП поддерживают мнение о важной роли учёта комплекса показателей наблюдаемого или планируемого воздействия [54-56,60]. Эта многогранная зависимость является фундаментальной особенностью биоэффектов слабых раздражителей ЦНС любой модальности. В результате ЭМВ может иметь различную биологическую значимость, но в условиях сохранения низкой интенсивности, короткой экспозиции и нормального функционального состояния биообъекта, она не выходит

за пределы нормы. Неспецифический характер реакции ЦНС (как системы) просматривается и на уровне организма при оценке комплекса показателей, характеризующих функциональное состояние различных систем. Поддерживает эти представления и тот факт, что к ЭМП нетепловой интенсивности применимы неспецифические законы физиологии о повышении биологической значимости слабого раздражителя.

Облучение ЭМП или ПМП, в условиях: повторения коротких экспозиций, неполноценного функционирования ЦНС, комбинирования или сочетания с факторами других модальностей – могло повысить их биологическую значимость[3]. Как и в случае раздражителей других модальностей, эти процедуры не являются простыми, однозначными и определяются законами физиологии. Используя эти пути и не изменяя ППЭ, можно наблюдать переход неспецифического раздражителя ЭМП – от подпорогового, к слабому, средней силы и сильному. При этом показан переход реакций в виде усиления диапазонов ЭЭГ альфа, тэта и (далее) судорожной активности. Соответствующее отражение имело место и в других системах организма: сердечно – сосудистой, дыхания, мышечной, крови.

В наших работах ещё одним информативным показателем реакции организма на слабое ЭМВ было содержания микроэлементов-металлов в крови и мозге животных[3,88,89]. Этот показатель отличался своей информативностью, в том плане, что не зависел от конкретных значений ППЭ и экспозиции в пределах нетепловых и коротких воздействий. По сравнению с биоэлектрической активностью мозга, по этому показателю (в используемом разнообразии воздействий) неоднократно воспроизводился один и тот же результат. Для мозга наиболее часто встречаемые статистически значимые изменения сводились к снижению содержания кальция, железа и возрастанию уровня цинка. Для крови было характерно возрастание уровней: железа, меди и марганца. Количественная характеристика изменений достигала 40-50% (относительно контрольных значений), что (хотя и приближалось), но не выходило за пределы нормы. Элементы-металлы (Э-М) играют большую роль в жизнедеятельности разнообразных живых организмов, в том числе, и человека [90, 91]. Многие из них входят в состав важнейших биологически активных веществ (ферментов, гормонов и др.), принимая активное участие в регуляции процессов обмена веществ в различных системах организма. Изменения в содержании Э-М (в известной мере) могут служить показателями реакций организма на воздействия различных модальностей, свидетельствуя как о положительных, так и отрицательных изменениях в физиологических процессах. Именно непосредственное влияние факторов магнитной природы на биологическую ткань может

изменять концентрацию и активность отдельных ионов элементов-металлов. Как было отмечено выше, количественные характеристики реакций не выходили за пределы нормы, обеспечивая сохранение необходимого гомеостаза. По данным литературы и нашим исследованиям, эти колебания сопоставимы у различных животных и человека. Данные литературы о единстве морфо-фундаментальных основ и гомеостаза относительно содержания Э-М у высших позвоночных животных и человека позволяют предполагать чувствительность данного показателя и для человека. На этом основании этот ответ представляет интерес для гигиенистов как новый более чувствительный критерий оценки безопасности ЭМП при совершенствовании нормативных документов, как сигнал к нарушению жизнедеятельности при медицинском профосмотре и профотборе

Повторение коротких воздействий может привести к реакции организма. Эксперименты на животных и обследования работников соответствующих производств показали, зависимость кумуляции от: совокупной длительности облучения, характера предъявления отдельных экспозиций, режима облучения и функционального состояния биообъекта. Такая сложная зависимость объясняет различный характер итоговой реакции ЦНС (от нормальных до пограничных значений) при облучении СВЧ ЭМП нетепловых уровней со сходными энергетическими и амплитудно-частотными характеристиками. Показано, что для кумуляции нейроэффектов ПМП и ЭМП необходимо определенное соотношение экспозиций и пауз между ними [2,3]. Например, при экспозиции 1÷5мин соотношение пауз 1 к 3 является более благоприятным, чем – 1 к 1, а 1 к 10, вообще, не приводит к накоплению изменений [3-5]. З.В. Гордон и ее сотрудниками неоднократно описана большая эффективность облучения СВЧ ЭМП с изменяющимися по длительности периодами облучения и паузами (интермиттирующий режим) [92].

Большая эффективность ЭМП, путем усложнения режима, способствует более быстрому проявлению кумуляции при повторных воздействиях нетепловой интенсивности. Нельзя не учитывать зависимость развития кумуляции и от состояния биообъекта. Эта многогранная зависимость характерна для слабых раздражителей ЦНС любой модальности, однако существующие особенности требуют изучения.

В итоге можно заключить, что ЭМП и ПМП низкой интенсивности и короткой экспозиции — слабый подпороговый раздражитель, к которому применимы законы физиологии о биологической значимости, путях её модификации и адаптационных реакциях. Это заключение является очень важным, т.к. снимает с изучаемых факторов некото-

рую "таинственность" и ставит их в один ряд с известными раздражителями ЦНС, делая возможным использовать фундаментальные законы физиологии для объяснения наблюдаемых реакций, их прогнозирования. Представленная фундаментальная характеристика нейроэффектов слабых ЭМВ является научным обоснованием вероятности их острого и хронического влияния на жизнедеятельность организмов. Приведенные в монографии результаты могут представлять интерес, не только для специалистов, изучающих биоэффекты ЭМП, но и для нейрофизиологов, развивая представление о неспецифических путях формирования реакций ЦНС на различные стимулы, вне зависимости от их первичных физико-химических механизмов.

Значимость фундаментальных основ нейроэффектов слабых ЭМВ следует и из современного состояния вопросов их практического использования. Появляющиеся новые соответствующие процедуры и методы включают необходимость учёта зависимости эффекта от: комплекса показателей воздействия, особенностей функционального состояния биообъекта и окружающей среды. Становится очевидным, что именно отсутствие учёта даже одной из характеристик, влияющих на эффект слабого ЭМВ, определяет разноречивость существующей информации. С другой стороны, только строгое соблюдение этой сложной зависимости даёт обоснованные и воспроизводимые результаты.

Широкое использование в физиотерапии ЭМП, их постоянный рост и сопровождение в повседневной жизнедеятельности человека, несомненно, привлекают внимание лечащих врачей и гигиенистов к фундаментальным основам развития данных реакций. СВЧ-терапия в медицинской практике включает как тепловые, так и нетепловые уровни [93,94]. В первом случае лечебный эффект, связан с повышением температуры тканей, что может привести к: ускорению движения крови и лимфы, повышению проницаемости сосудистой стенки, улучшению обмена веществ и защитных реакций. Раздражение нервных рецепторов в зоне воздействия способно повысить активность гипоталамуса и увеличить выброс биологически активных веществ (гистамин, серотонин).

В литературе в качестве механизма лечебного действия сантиметровых волн нетепловой интенсивности представлен анализ релаксационных колебаний молекул воды и аминокислот [95-97]. Его называют также специфический осцилляторный эффект, который может иметь место и при слаботепловой дозе воздействия, но не связан, непосредственно, с повышением температуры. При этом, например, СВЧ малой интенсивности при локальном воздействии могут стиму-

лировать эндокринную систему, кору надпочечников, щитовидную и поджелудочную железы, усиливать региональную лимфо – и гемодинамику. Использование ЭМВ нетепловой интенсивности в лечебной практике развивается в виде привлечения новых более эффективных параметров ЭМП и разработке соответствующих приборов физиотерапии. В этом плане самостоятельного внимания заслуживают работы ростовских учёных, которые применяли постоянные и переменные магнитные поля как раздражители слабой и средней силы для повышения адаптационных возможностей организма [62,63]. В Ростовском научно-исследовательском онкологическом институте (РНИОИ) созданы научно обоснованные условия для применения факторов волновой природы различных частотных диапазонов. В основе – труды Л.Х. Гаркави, М.А. Уколовой, Е.Б. Квакиной, касающиеся закономерностей развития общих неспецифических адаптационных реакций организма [63]. Благодаря этому получили развитие техника и методы магнитотерапии в широком диапазоне электромагнитных колебаний.

Самостоятельного внимания заслуживали работы по изучению вопроса о влиянии магнитного поля на рост опухоли мозга животного. Учитывая полипараметрический характер действия, контролировали: интенсивность, частоту, экспозицию, градиент, вектор. В экспериментальном поиске наиболее эффективных параметров авторы использовали различные интенсивности магнитного поля в пределах 0.1-50мТл и показали наличие «окон « преимущественно в области малой интенсивности 0.1-0.7мТл. Далее были выявлены и наиболее эффективные частоты сигнала, близкие к эндогенным ритмам мозга– (0,03–0,3–3–9 Гц), что в совокупности составило алгоритм наиболее эффективного сигнала и привело к повышению противоопухолевой резистентности организма [95].

Исследовали и роль ЭМП для усиления противоболевого эффекта в организме больных. Обезболивающее действие обусловлено прекращением или ослаблением нервной импульсации из болевого очага вследствие устранения гипоксии, улучшения микроциркуляции, снижения отеков. В этом случае может использоваться транскраниальная магнитная терапия. Как пишут авторы [96,97],противоболевой эффект обусловлен стимуляцией антиноцицептивной системы, увеличением синтеза эндорфинов с последующим их выбросом в ликвор и кровь.

Описаны процедуры и биоуправляемой магнитотерапии, которые позволяют автоматически изменять параметры воздействующих магнитных полей в зависимости от электрических характеристик тканей

пациента [75, 97]. Профессор Евгения Петровна Лобкаева и её сотрудники научно обосновали и ввели в практику пострадиационной терапии переменное магнитное поле [97]. При этом подчёркивается важность индивидуального подхода к каждому пациенту в плане подбора параметров и режимов воздействия. Авторами также определены параметры, формы модуляции и режимы МП, направленные на устранение сердечно – сосудистой патологии и восстановление организма, причём с учётом его текущего состояния.

Представленная фундаментальная характеристика реакций ЦНС на слабые ЭМВ даёт обоснование возможности положительного влияния полей на состояние организма. Приведённые в монографии результаты СВЧ терапии экспериментального невроза дополняют имеющиеся сведения новыми параметрами и режимами микроволновой физиотерапии. Они свидетельствуют о необходимости и прикладной целесообразности дальнейшего развития этой области знаний.

Показана также вероятность и отрицательного влияния на организм животных и человека слабых ЭМВ. Это касается, главным образом, хронических экспозиций, сложноорганизованных ЭМП, влияний на ослабленный организм, сочетанных и комбинированных воздействий. Эти аспекты постоянно привлекают внимание гигиенистов. Современные принципы и средства защиты работников от неблагоприятного воздействия электромагнитных полей радиочастот находят отражение в трудах активно работающих гигиенистов [82,98-101 и др.]. Уделяется внимание вопросам вероятностного прогнозирования воздействия электромагнитных полей радиочастот на население; характеристикам электромагнитной обстановки, создаваемой излучениями абонентского оборудования сотовой связи 4g/5g/6g и т.д.

Техногенные источники электромагнитного излучения существенно повлияли на электромагнитный фон окружающей среды вследствие увеличения напряженности электрических и магнитных полей от двух до пяти порядков. Суммарная напряженность ЭМП в течение последних 40-50 лет в окружающей среде увеличилась по сравнению с фоном в сотни раз. Это обусловило реальную опасность для людей, животных и растительного мира. Спектр частот ЭМИ очень широк. Он охватывает диапазон длин волн от десятков и сотен километров до долей нанометров, от радиоволн малой частоты до ионизирующего излучения в виде космических лучей. Наиболее активно используются источники сверхвысокочастотных (СВЧ), ультравысокочастотных, высокочастотных излучений.

Острые поражения СВЧ ЭМИ встречаются сравнительно редко, чаще всего в аварийных ситуациях при воздействии микроволн вы-

сокой интенсивности. Хронические поражения СВЧ ЭМИ встречаются значительно чаще острых и возникают в результате длительного многократного облучения в дозах, превышающих ПДУ, но не оказывающих термического действия. Клиническая картина хронического действия ЭМИ не имеет четкой симптоматики. Жалобы на ухудшение состояния здоровья людей, подвергавшихся воздействию ЭМИ, появляются в основном через 2-5 лет от начала работы в условиях данной профессиональной вредности.

Основу начальных проявлений хронического поражения составляет астенический синдром. Поражение легкой степени проявляется вегетативным синдромом, а при поражениях средней степени тяжести возникают ангионевротический и диэнцефальный (гипоталамический) синдромы. В конце 60-х гг. прошлого столетия в работах многих отечественных (советских) клиницистов (В. П. Казначеев, С. П. Шурин, Л. П. Михайлова, Э. А. Дрогичина, М. Н. Садчикова, Н. В. Тягин и др.) была описана клиническая картина расстройств электромагнитной природы и введено новое нозологическое понятие – радиоволновая болезнь, или хроническое поражение микроволнами. Именно российские исследователи (З. В. Гордон, И. Р. Петров, А. В. Триумфов, В.П. Казначеев, Л. П. Михайлова, Э. А. Дрогичина, М. Н. Садчикова, Б. Ф. Мурашов, В. Л. Горбань и др.) установили, помимо теплового, нетепловое воздействие, часто называемое также специфическим. Возможна также кумуляция повреждающих эффектов, ведущая к срыву механизмов адаптации. Полного выздоровления может не наступить, и в этом случае необходимо длительное лечение и/или специальное трудоустройство.

Современные гигиенические задачи включают изучение биоэффектов новых стандартов сотовой связи, сложноорганизованных ЭМП, одновременное действие нескольких источников. Сохраняется вопрос о возможности усиления падающей энергии или наведения тока микрополяризации в условиях слабых ЭМВ при наличии металлических деталей, контактирующих с биологической тканью [76÷80]. Такая ситуация может оказать неблагоприятное влияние на состояние организма, чему неоднократно были посвящены симпозиумы и публикации.

Экспериментальных исследований подобного рода, буквально, единицы, среди них и наши работы [3,22,23,102]. В них представлена экспериментальная оценка возможности влияния металлических электродов и проводов на показатели биоэлектрической активности мозга в результате облучения преимущественно головы кролика электромагнитным полем нетепловой интенсивности (10ГГц, непре-

рывный режим, ППЭ 200 мкВт/см²). В результате показана вероятность развития эффектов тока микрополяризации при использовании металлических проводников, что зависит от количества электродов и расположения проводов относительно силовых линий поля (рис.34). Эти изменения в показателях работы мозга могли находить отражение и в состоянии организма, что поддерживает мнение о данной ситуации как самостоятельной проблеме, требующей дальнейшего изучения.

При изучении различных аспектов влияния ЭМП нетепловой интенсивности на организм животных и человека может быть полезной изложенная фундаментальная характеристика нейроэффектов электромагнитных воздействий. Она представляет научное обоснование отношению к изучаемому воздействию как к обычному раздражителю ЦНС, который, подчиняясь неспецифическим законам физиологии, может иметь различную биологическую значимость. Такой подход открывает возможность понимания и прогнозирования нейроэффектов соответствующих ЭМВ, учитывая необходимость комплексного анализа показателей: ЭМП, экспозиции, состояния организма, возможных сопутствующих воздействий.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность дорогим учителям – Академику Михаилу Николаевичу Ливанову и профессору, доктору биологических наук Юрию Андреевичу Холодову – своим ученикам (биологам, нейрофизиологам, врачам неврологам, гигиенистам, инженерам), многочисленным коллегам за проявленный интерес, участие и поддержку при выполнении этапов данного многолетнего труда.

ЛИТЕРАТУРА

1.Ливанов М.Н. Избранные труды М.: Наука, 1989. – 400 с.

2.Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука. 1975. 284 С.

3. Лукьянова С.Н. ЭМП СВЧ диапазона нетепловой интенсивности как раздражитель для ЦНС М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, 2015, 200с.

4. Лукьянова С.Н. Фундаментальная характеристика реакции нейронов головного мозга на ЭМП нетепловой интенсивности // Радиационная биология. Радиоэкология, 2019, том 59, № 4, с. 414–429

5. Лукьянова С.Н., Меркулов А.В. К вопросу остепени участия различных отделов головного мозга в реакциях на магнитное и электромагнитное поля малых уровней // Радиационная биология. Радиоэкология. 2012. том 52. №6. С. 608 -615.

6. Минасян С.М., Григорян Г.Ю., Саакян С.Т., Ахумян А.А.,Калантарян В.П. Эффекты действия крайне высокочастотного ЭМП на импульсную активность нейронов супраоптического ядра гипоталамуса крыс // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2005. Т. 91. № 12. С. 1398–1406.

7. Чиженкова Р.А. . Импульсные потоки популяций корковых нейронов коры больших полушарий кроликов при сверхвысокочастотном облучении низкой интенсивности: пачечная активность // Нейрофизиология. 2008. Т. 40. № 5–6. С. 417–425.

8. Чиженкова Р.А. Импульсные потоки популяций корковых нейронов при СВЧ-облучении: число вспышек пачечной активности // Радиационная биология. Радиоэкология. 2010. Т. 50. № 2. С. 201–210.

9. Calabro E. Effects of Electromagnetic Fields on Cells and Proteins' Structure. LAP- Lambert Academic Publishing, 2012. 300 p.

10. Kim J.H., Sohn U.D., Kim H.G., Kim H.R. Exposure to 835 MHz RF-EMF decreases the expression of calcium channels, inhibits apoptosis, but induces autophagy in the mouse hippocampus // Korean J. Physiol. Pharmacol. 2018. May.V. 22. № 3. P. 277–289.

11. Kim J.H., Yu D.H., Kim H.J., Huh Y.H., Cho S.W.,Lee J.K., Kim H.G., Kim H.R. Exposure to 835 MHz radiofrequency electromagnetic field induces autophagy in hippocampus but not in brain stem of mice // Toxicol. Health. 2018. Jan. V. 34. № 1. P.23–35.

12. Kim J.H., Kim H.J., Yu D.H., Kweon H.S., Huh Y.H. Changes in numbers and size of synaptic vesicles of cortical neurons induced by exposure to 835 MHz radiofrequency Oct. 18. V. 50. № 8. P. 246.

13. Eghlidospour M., Ghanbari A., Azari H. Effects of radiofrequency exposure emitted from a GSM mobile phone on proliferation, differentiation,

and apoptosis of neural stem cells // Anat. Cell Biol. 2017. Jun. V. 50. № 2. P. 115–123.

14. Bernal-Mondragon C., Arriaga-Avila V., Martinez-Abundis E. et al. Effects of repeated 9 and 30-day exposure to extremely low-frequency electromagnetic fields on social recognition behavior and estrogen receptors expression in olfactory bulb of Wistar female rats //Neurol. Res. 2017. Feb. V. 39. № 2. P. 165–175.

15. Hinrikus H., Bachmann M., Karai D., Lass J. Mechanism of low-level microwave radiation effect on nervous system//Electromagnetic Biol. Med. 2017. V. 36. № 2. P.202–212.

16. He G.L., Luo Z., Shen T.T. et al. Inhibition of STAT3- and MAPK-dependent PGE2 synthesis ameliorates phagocytosis of fibrillar β-amyloid peptide (1-42) via EP2 receptor in EMF-stimulated N9 microglial cells //J. Neuroinformation. 2016. Nov.21. V. 13. № 1. P. 296.

17. Barthelemy A., Mouchard A., Bouji M. et al. Glial markers and emotional memory in rats following acute cerebral EMF exposures // Environ. Sci. Pollut. Res. Int.2016. Dec. V. 23. № 24. P. 25343–25355.

18. Скребицкий В.Г., Бомштейн О.З. // Физиол. журн.СССР. 1967. Т.53. № 2.С.129–138.

19. Кондратьева Я.А. Современные проблемы электрофизиологии центральной нервной системы. М.: Наука, 1967. С. 148–159.

20. Dixon N.F., Henley S.H. Unconscious perception. Possible implications of data from academic research for clinical practice // J. Nervous and Mental Disease. 1991. V. 179. № 5. P. 243–252.

21. Лукьянова С.Н. К анализу реакций ЦНС на ПМП (условно-рефлекторный и электрофизиологический методы исследования) Дисс… канд. биол. наук М. : Ин-т ВНД и НФ АН СССР, 1970. 182с.

22. Лукьянова С.Н Электромагнитное излучение нетепловой интенсивности и короткой экспозиции как подпороговый раздражитель для центральной нервной системы.// Радиационная биология. Радиоэкология. 2013. т. 53. № 6. С. 601-609.

23. Лукьянова С.Н.,Уйба В.В. Терапия экспериментального невроза у кроликов с помощью электромагнитного поля в сравнении с факторами электрической и химической природы.// Медицинская радиология и радиационная безопасность.2017.Том 62. №3 с.5-12

24. Вальдман А.В. Актуальные проблемы фармакологии ретикулярной формации и синаптической передачи. Л., 1963. С. 111–134.

25. Kгырр R., Monnier M., Still G.// Arch. Experim. Pathol. Pharmacol. 1959. № 23.P.381–394.

26. Frölich H., What are non-thermal electric biological effects? // J. Bioelectromagnetics. 1982, Vol. 3 (1), pp. 45-47

27. Adey W.R. Tissue interaction with nonionizing electromagnetic fields // J. Physiol. Rev. 1981, 61: 435 – 514.
28. Bowin S, Kaczmarek I, Adey W // Ann. N-Y Acad. Sci. 1975, Vol. 247,pp. 74 – 81.
29. Blackman C.F., Benane S.G., Joines W.T., Hollis M.A., House D.E. Calciumion efflux from brain tissue: power density versus internal field-intensity dependencies at 50-MHz RF radiation // Bioelectromagnetics, 1980. Vol. 1, pp. 277 – 283.
30. Ritz T., Ahmad M., Mouritsen H., Wiltschko R., Wiltschko P. Photoreceptorbased magnetoreception: optimal design of receptor molecules, cells, and neuronal processing // J. R Soc Interface. 2010 Apr 6; 7 Suppl 2: S. 135 – 46.
31. Johnsen S., Lohmann K.J. The physics and neurobiology of magnetoreception // Nat. Rev. Neurosci. 2005 Sep; 6(9): 703 – 12.
32. Семин Ю.А., Швацвург Л.К., Жаворонков Л.П. Зависимость эффекта ослабления вторичной структуры ДНК от молекулярной массы полинуклиотида // Радиационная биология. Радиоэкология. 2002. Т. 42, № 2, с. 186 – 190.
33. Семин Ю.А., Швацвург Л.К., Жаворонков Л.П. Влияние ЭМП на вторичную структуру ДНК // тезисы 2-го съезда радиационных исследований. М.: 2001. С. 794.
34. Пашовкина М.С., Пашовкин Т.Н. Изменение относительной активности холинэстеразы при действии модулированного СВЧ ЭМП в опытах in vitro // Радиационная биология. Радиоэкология. 2011. Т.51, №3, с. 369–374.
35. Xu S., Ning W., Xu Z et al. Chronic exposure to GSM 1800 MHz microwave reduced excitatory synaptic activity in cultured hippocampal neurons //Neurosci Lett. 2006. 398. pp. 253 – 257.
36. Frochlich H, Long-range coherence and energy storage in biological system // In Quante Chemestry, 1968.Vol. 2, №5, pp. 641-649.
37. Takashima S., Schwan H.P., Onoral B. Effects of modulated RF energy on the EEG mammalian brains: Radiat. Environ. Biophys. 1979. Vol. 16, pp. 15 – 27.
38. Grodsky I.T. Possible physical substrates for the interaction of electromagnetic fields with biologic membranes. // Ann. N-Y Acad. Sci.1975. 247: 117 – 124.
39. ЛеднёвВ.И. Биоэффекты слабых комбинированных постоянных и переменных магнитных полей. Биофизика. 1996; т. 41: 224–234.
40. Леднёв В.И. Магнитные моменты – мишени для ЭМП // Биофизика,2010, Т. 55, №4, с. 23 – 48.
41. Лукьянова С.Н. Феноменология и генез изменений в суммарной

биоэлектрической активности головного мозга на неионизирующее излучение // Радиационная биология. Радиоэкология. 2002. Т.42. №3. С. 308-314.

42. Осовец СМ., Гинзбург Д.А., Гурфинкель В.С. и др. Электрическая активность мозга: механизмы и интерпретации // Успехи физиол. наук. 1983. Т. 141. Вып. 1. С. 103-150.

43.Andersen P., Andersen J A., Zomo T.L. Nature of thalamocortical relations during spontaneous barbiturate sprindle activity //J. Physiol. 1967. V. 192. P. 283-297.

44. Бехтерева Н.П., Камборова Д.К. Поздеев В.К. Устойчивое патологическое состояние при болезнях мозга. Л.: Медицина, 1978. 238с.

45 Болдырев А.И. Эпилепсия у взрослых М.: Медицина, 1984, 287с

46. Свидерская Н.Е., Значение синхронных корковых биоэлектрических процессов для оценки активности мозга в норме и патологии. Дисс. докт. биол. наук. Ин-т ВНД и НФ РАН. М.; 1985

47.Leresche N., Lambert R. C., Errington A. C., Crunelli V. From sleep spindles of natural sleep to spike and wave discharges of typical absence seizures: is the hypothesis still valid? Pflugers Arch. Eur. J Physiol. 2012; 463: 201–212.

48. Виноградова Л. Нейрофизиологические механизмы рефлекторной аудио генной эпилепсии. дисс…. докт. биол. наук Ин-т ВНД и НФ РАН. М; 2014.

49. Зальцман С.И., Селивра А.И., Пономарёв В.П. Синхронизация потенциалов мозга при генерации патологического возбуждения и торможения//Проблемы пространственной синхронизации биопотенциалов головного мозга. Пущино,1973. С. 92-97.

50. C.A. Anastassiou, R. Perin, H. Markram, C. Koch Ephaptic communication in cortical neurons. – Nature Neuroscience. 2011

51. Кругликов Р.И.,Мыслободский М.С., Эзрохи В.Л. Судорожная активность. М.: Наука, 1970. 146с.

52. Бурлакова Е.Б. Особенности биологического действия малых доз ионизирующего излучения // II Международная конференция «Человек и ЭМП» (сборник докладов), Сэров, 2007, с. 188 – 191.

53. Лукьянова С.Н., Григорьев Ю.Г., Степанов В.С. К вопросу об эффективности ЭМП, модулированных в диапазоне ритмов ЭЭГ. Радиационная биология. Радиоэкология. 2021; №. 1: 46-54.

54. Павлова Л.Н., Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В., ГлушаковаВ.С., Посадская В.М. Экспериментальная оценка реакций ЦНС на воздействие импульсныхЭМИ низкой интенсивности. Радиация и риск. 2010; т. 19. № 3: 104-119.

55. Павлова Л.Н., Колганова О.И., Посадская В.М. Влияние широко-

полосного импульсно-модулированного ЭМП низкой интенсивности на общую возбудимость ЦНС. Радиация и риск. 2011; т. 20. № 2: 64-74

56. Павлова Л.Н., Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В. Влияние низкоинтенсивного широкополосного импульсно-модулированного электромагнитного поля на когнитивные функции мозга крыс Радиация и риск. 2013; т. 22. № 2: 91-100.

57. Фокина Ю.О. и др. «Вероятные мех-мы генерации ЭЭГ» Учёные записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского серия « биология, химия», Том 20 (59), 2007. № 4. С. 96 – 108

58. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография. Таганрог. ТРТУ. 2000. 640с.

59. Лукьянова С.Н., Григорьев О.А., Дешин И.А., Веселовский И.А., Алексеева В.А. К вопросу о влиянии ЭМП нетепловой интенсивности и короткой экспозиции на функциональное состояние зрительного анализатора // Радиац. биология. Радиоэко-логия. 2017. Т. 57. № 6. С. 617–624.

60. Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В., Павлова Л.Н. и др. Влияние модулированного ЭМП низкой интенсивности на общую возбудимость ЦНС // Радиация и риск. 2011. Т. 20. № 2. С. 64–74.

61. Кастандов Э.А. Нейрофизиологические механизмы неосознаваемых явлений. Успехи физиологических наук. 1981; 12(4): 3–27.

62. Гаркави Л. Х., Квакина Е. Б., Кузьменко Т. С. Антистрессорные реакции и активационная терапия. Реакция активации как путь к здоровью через процессы самоорганизации. М.: Имедис, 1998.-656 с.

63. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.Н. Адаптационные реакции и резистентность организма. Ростов-на-Дону; 1990.

64.Лукьянова С.Н.,Карпикова, О.А. Григорьев, В.А. Алексеева Кумуляция нейроэффектов повторных электромагнитных облучений нетепловой интенсивности// // Радиац. биология. Радиоэкология. 2017. Т. 57. № 6. С. 617–624.

65. Каменецкий Д.А. Неврозология и психотерапия (учебное пособие). М. Учебная литература 2001. 215с

66. Лукьянова С.Н., Степанов В.С., Торубаров Ф.С. .Изучение биоэффектов сложноорганизованных электромагнитных воздействий низкой интенсивности // Гигиена и Санитария • том 101 • № 5 • 2022 с. 515-522

67. Лукьянова С.Н. Особенности электрической активности головного мозга при экспериментальном неврозе. //Сб. Неврозы в эксперименте и клинике.М. 1982. С.103- 109с.

68. Lukyanova S.N. Uber eine Komplexe Analise bei der Erfor-schung der experimentallen neurose//Stress Neurose Herz-Kreislauf, Berlin 1977. 251-259 p.

69. Книпст И.Н. Лукьянова С.Н.., Кориневский А.В. Соотношение по-

веденческих фаз «покой-активность» и характеристики пространственной организации потенциалов в экспериментальном неврозе.//Ж. высш. нервн. деят. 1981, №2. с.296-305.

70. Хомская Е.Д. Нейропсихология эмоций: гипотезы и факты. // Вопросы поихологии. – 2002. – №4. – СС. 50-61.

71. Багирова Р.М. Влияние нейрохимических систем мозга на частотные спектры гиппокампального тета-ритма // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: естественные науки . 2014. № 5 с. 8-13.

72. Buzsak' i G., Moser E.I. Memory, navigation and theta rhythm in the hippocampal6 entorhinal system.//Nature Neuroscience, 2013. Vol. 16, p.130–138.

73. Виноградова О.С. Гиппокамп и память, М.Наука, 1975, 333с

74. Суворов КБ., Василевский КН., Цыган В.К. Биоритмологическая диагностика действия слабых факторов // Сб. Механизмы действия сверхмалых доз. М-Л 1995.с. 129.

75. Коновалов В.Ф., Буренко Б.Н., Кожакару А.Ф. Биорезонансная электроимпульсная терапия с помощью ЭМП // Материалы конференции Проблемы электромагнитной безопасности человека. Фундаментальные и прикладные исслед. М. 1996, с. 128 – 129.

76. Napp A., Stunder Д., Maytin M. et al. Are patients with cardiac implants protected against electromagnetic interference in daily life and occupational environment? Eur Heart J. 2015 Jul 21; 36(28): 1798-804.

77. Ribatti V., Santini L., Forleo G. et al. Electromagnetic interference in the current era of cardiac implantable electronic devices designed for magnetic resonance environment. Ital Cardiol (Rome) 2017 Apr; 18(4): 295-304.

78. Ya.T.A. Al'-Ademi M.V, Davydov T.A. et al. Rapid assessment of the effects of sources of electromagnetic pulses and spark discharges on imitators of biological tissues. Doklady BGUIR 2014; 5(83): 44-48.

79. Seckler T., Stunder D., Schikowsky C. et al. Effect of lead position and orientation on electromagnetic interference in patients with bipolar cardiovascular implantable electronic devices. Europace. 2017 Feb 1;19(2):319-328.

80. Implantable pacemakers Apollo. http://www.cardioelectronica.com/assets/rukovodstvo-stimuliator-apollo_new.pdf (03 декабря 2018).

81. Холодов Ю.А., Лебедева Н.Н. Реакция нервной системы человека на ЭМП. М.: Наука; 1992.

82. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Сотовая связь и здоровье. М.: Экономика; 2013.

83. Савин Б.М., Рубцова Н.Б. Влияние радиоволновых излучений на ЦНС.В кн.:Физиология человека и животных. М.: ВИНИТИ; 1978: 68–111.

84. Лебедева Н.Н., Потулова Л.А., Мартей Р.А. Динамика ритмической активности коры человека при воздействии мобильного телефона. Биомедицинская радиоэлектроника. 2010; (10): 3–10.

85. Карпикова Н.И. Клинико-нейрофизиологическое исследование состояния нервной системы работающих в ближней зоне пачечноимпульсного СВЧ-облучения низкой интенсивности: Дисс. канд.мед.наук. М.; 1995.

86. Лукьянова С.Н.,Карпикова Н.И., Григорьев Ю.Г., Веселовский И.А. Изучение реакций мозга человека на электромагнитные поля нетепловой интенсивности // Гигиена и санитария, 2017: 96 (9), С. 848 – 854.

87. Быковская Т.Ю. Основы реабилитации Ростов н/Д: Феникс, 2015.-430с.

88. Гарибов Р.Э., Князева Г. В, Лукьянова С. Н., Бердюгин В. В. Содержание микроэлементов-металлов в крови животных как информативный показатель реакции организма на низкоинтенсивное кратковременное электромагнитное облучение // Радиационная биология. Радиоэкология 2005, том 45, № 5, с. 587-591.

89. Лукьянова С.Н, Степанов В.С., Гарибов Р.Э. ,Шандала Н.К. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного поля различных параметров на содержания элементов-металлов в мозге и крови крыс // Медицина экстремальных ситуаций. 2018; 20(4) ,С. 581-591

90. Райцес В.С. Нейрофизиологические основы действия микроэлементов. М.: «Медицина», 1981,150с.

91 Дельва В.А. Содержание и топография некоторых микроэлементов в головном мозгу человека в норме и патологии. Автореф. докт. дисс, Киев, 1985.

92. Гордон З.В. Новые результаты исследования по проблеме- гигиена труда и биологическое действие ЭМП радиочастот. Тр. Ин-та Гигиены труда и проф. Эаболеваний АМН СССР. М. 1973. С 144-149.

93. Рудой А.С. и др. Современные подходы к диагностике, терапии, профилактике поражений электромагнитными излучениями СВЧ диапазона–Минск: БГМУ, 2018. 38с.

94. Иванов Д. В, Токарева С.В. Избранные вопросы магнитотерапии (краткий обзор литературы).// Вестник новых медицинских технологий. электронное издание – 2021, № 4.

95. Атмачиди Д.П., Анапалян В.Х., Абиева С..М., Шихлярова А.И., Протасова Т.П. Некоторый опыт трансляционной медицины: разработка и продвижение волновых технологий в сопроводительной терапии рака // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 11-1. С.18-20.

96. Франциянц Е.М, Шейко Е.А. Противоопухолевое действие электромагнитных полей и их влияние на боль в экспериментальной и кли-

нической онкологии// Исследования и практика в медицине 2019, т.6, №2, с. 86-99.

97. Лобкаева Е.П., Девяткова Н.С., Комиссаров В.И. Обоснование подбора параметров импульсного МП для получения заданного биологического эффекта // Сб. докл. 1-й междунар. конф. “Человек и ЭМП”. Саров, 2003. С. 8–19.

98. ПальцевЮ.П.,ПоходзейЛ.В.,РубцоваН.Б.,ПеровС.Ю. БелаяО.В. Современные принципы и средства защиты работников от неблагоприятного воздействия электромагнитных полей радиочастот // Гигиена и санитария 2017,5:451-516.

99. Походзей Л.В., Пальцев Ю.П., Руднева Е.А.Гигиеническая оценка электромагнитной обстановки на компьютеризированных рабочих местах: история и современное состояние // Гигиена и санитария. 2019;98(11):1196-1200.

100. Никитина В.Н., Калинина Н.И., Ляшко Г.Г., Дубровская Е.Н., Плеханов В.П. Особенности архитектуры сетей 5G. Вероятностное прогнозирование воздействия ЭМП радиочастот на население. Гигиена и санитария. 2021; 100 (8): 792-796.

101.Мордачев В.И. Характеристики электромагнитной обстановки, создаваемой излучениями абонентского оборудования сотовой (мобильной) связи ...4g/5g/6g в зданиях. г. Минск, Республика Беларусь. (ДОКЛАДЫ БГУИР DOKLADY BGUIR T. V.19, №6 (2021) P. 42.

102. Лукьянова С.Н., Фомина Т.В., Веселовский И.А. Экспериментальное изучение биоэффектов тока микрополяризации как следствие использования металлических проводников при облучении головы кролика электромагнитным полем нетепловой интенсивности // Саратовский научно-медицинский журнал: 2019. т. 15. № 4. С. 994-998.

Формат 60х90/16, объём 8,75 усл. печ. л.
Бумага 80 г/м^2 офсетная.
Гарнитура Times New Roman.
Тираж 100 экз. Заказ № Л028.

Отпечатано в типографии
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.
123098 Москва, ул. Живописная, 46.
Тел.: (499) 190-93-90, 190-94-09.
rcdm@mail.ru, lochin59@mail.ru
www.fmbafmbc.ru