

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Серия  
«Человек и окружающая среда»

Ю. А. ХОЛОДОВ

**МОЗГ  
В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ  
ПОЛЯХ**



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1982

**Х-73** Холодов Ю. А. Мозг в электромагнитных полях. М.: Наука, 1982, 123 с.— (Научно-популярная серия)

В популярной форме излагаются история и современные проблемы, связанные с выяснением роли внешних и внутренних электромагнитных полей (от статических до радиочастотного диапазона) в деятельности центральной нервной системы. Отмечаются экологические, гигиенические, терапевтические и диагностические аспекты электромагнитной нейрологии. Показаны перспективы использования естественных и искусственных электромагнитных полей для изучения деятельности головного мозга. Книга рассчитана на широкий круг читателей.

20.7

Ответственный редактор

доктор медицинских наук

Р. И. КРУГЛИКОВ

© Издательство «Наука», 1982

Х  $\frac{2007020044}{055(02)-82}$ -26-81 НП

Каждая эпоха в истории человечества порождала своих героев, свои насущные заботы и ... свои взгляды на работу головного мозга. В последнем случае определяющую роль играли успехи в развитии физических и технических наук, которые возглавляли научно-технический прогресс, хотя и другие нетехнические подходы к объяснению функции мозга вызывали иногда симпатию у широкой публики. Но мысль о машинообразной работе мозга была наиболее плодотворной.

Р. Декарт использовал знание механики для объяснения деятельности мозга. У него по нервным трубкам перемещается дух, объединяя работу разных участков тела. Электротехника переделала модель работы мозга на свой лад. Теперь уже по нервам, как по проводам, бежит электрический ток, сообщая мозгу информацию о внешнем и внутреннем состоянии организма и передавая его приказы для мышц и желез.

Дошла очередь и до радиотехники. Ее призвали служить новейшей моделью нервной деятельности. На очереди стоят лазеры и другие новинки техники. Надо спешить описать электромагнитную картину мозга. Это будет не первая попытка такого рода описаний, но необходимость таких нейрофизиологических обобщений уже назрела.

Мозг мы предполагаем рассматривать на страницах книги и как орган психической деятельности (психологический подход), и как «черный ящик» (кибернетический подход), и как скопление нервных центров (физиологический подход), и как триединство нейрона, глии и капилляра (морфологический подход), и как генератор биоэлектрических процессов (электрофизиологический подход), и как взаимодействие клеточных и субклеточных образований, разделенных мембранами (биофизический

подход), и как, наконец, комплекс химических реакций, взаимосвязанных в пространстве и во времени (биохимический подход). Иногда нам придется выходить за пределы центральной нервной системы, чтобы рассмотреть процессы, протекающие на периферии нервной системы и в других системах организма. В некоторых случаях понадобится взглянуть на нейроны беспозвоночных животных и на развивающийся мозг цыпленка.

Но сегодняшний читатель, воспитанный на эволюционных идеях Ч. Дарвина и идеях нервизма русских физиологов И. М. Сеченова, Н. Е. Введенского и И. П. Павлова, легко может себе представить нервную систему как продукт длительной эволюции живого мира, созданный природой для координации деятельности внутренней среды организма и динамического приспособления его к меняющейся внешней среде.

Из этой внешней среды нас прежде всего будут интересовать электромагнитные поля (ЭМП), начиная от постоянных электрических (ЭП) и магнитных полей (МП) и кончая радиочастотным диапазоном ЭМП, который в нашей стране часто называется сверхвысокочастотным (СВЧ) диапазоном, а за рубежом — микроволнами. С чьей-то легкой руки за рубежом в 70-х годах нашего столетия был выпущен в научную литературу термин «неионизирующая радиация», объединяющий указанные выше диапазоны ЭМП. И хотя многие (в том числе и автор этой книги) не считают этот термин удачным, он уже приобрел права гражданства.

Встречается термин «электромагнитная биология», обозначающий ту же область исследований, которая связана с изучением биологического действия неионизирующей радиации. Область наших интересов можно назвать электромагнитной нейрологией. Обилие неустоявшихся терминов характеризует обычно период зарождения новой науки. Пожалуй, по отношению к электромагнитной биологии следует говорить не о зарождении, а о возрождении, которое носит дробный, повторяющийся характер.

Об истории электромагнитной биологии мы будем говорить и в каждой главе книги, и в отдельной главе, посвященной истории, но сейчас необходимо отметить сегодняшнюю актуальность этой области знаний.

Развитие научно-технической революции привело к резкому увеличению интенсивности различных ЭМП на

производстве, в научных учреждениях и в быту. Успехи в изучении биологического действия ЭМП, особенно интенсивно развивающиеся в 70-х годах в СССР и в США, ставят вопрос о возможной угрозе своеобразного «электромагнитного загрязнения среды».

Отмечены терапевтические эффекты ЭМП, а также важность их использования в диагностике для бесконтактного съема информации с биологического объекта. Поэтому важна современная оценка биологического действия не только искусственных (усиленных и ослабленных), но и естественных ЭМП, источниками которых могут быть космические или геофизические процессы, а также сами биологические объекты.

Как следует из сказанного, проблемы электромагнитной биологии носят междисциплинарный характер, что может иллюстрироваться программами последних конференций Международного союза радионаук — URSI (см. *Radio Science*, N 6S, 1977, 1979) и других научных объединений технического профиля, где биологические вопросы начинают широко обсуждаться (Биологические эффекты электромагнитной энергии и медицина. Труды ИИЭР, 1980, т. 68).

Большинство исследователей (особенно советских) считают, что ЦНС наиболее чутко реагирует на ЭМП и что физиологический механизм этой реакции отличается от ответов на другие раздражители медленным характером и реализацией чаще всего (но не всегда) на субсенсорном уровне. Возникают предположения об использовании мозгом собственных ЭМП для синхронизации деятельности отдельных его частей.

При обсуждении вопросов биологического действия неионизирующих излучений на международных и всесоюзных конференциях выявляются пробелы в понимании разными специалистами отдельных проблем электромагнитной биологии. Взаимодействие представителей разных специальностей не может обеспечиваться только знакомством с чисто научными публикациями. Поэтому я рискнул написать книгу об электромагнитной нейрологии, адресуя ее широкому кругу читателей. Уместно заметить, что нейрологи-профессионалы мало еще уделяют внимания ЭМП. В то же время среди глобальных проблем, стоящих перед человечеством, важное место занимает проблема охраны окружающей среды, в которую входит и проблема электромагнитного загрязнения. Конечно, электромаг-

нитная биология не ограничивается только гигиеническим аспектом. Решение глобальных проблем возможно только при междисциплинарном подходе, и такой подход характеризует электромагнитную биологию на разных этапах ее развития.

## Глава 1

# ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НЕЙРОЛОГИИ

Три корня можно обнаружить у дерева электромагнитной биологии, и самый глубокий, т. е. древний, будет связан с биологическим действием МП. Второй корень характеризуется изучением биологического действия ЭП. Последний, наиболее интенсивно питающий электромагнитную биологию корень представлен современными исследованиями биологического действия микроволн. Не вдаваясь в глубокую древность, мы рассмотрим основные вехи развития электромагнитной биологии за последние два века. Кстати, эта дата отмечалась магнитобиологией, рождение которой связывают с докладом врачей Андри и Туре в Королевском медицинском обществе Франции 29 августа 1780 г. Указанные авторы представляли комиссию, проверявшую опыты аббата Ленобля по влиянию искусственных магнитов (их только что научились делать) на нервную систему человека, и в частности на зубную боль. Вывод комиссии гласил, что целебное действие магнита обуславливается непосредственным и прямым действием магнитной силы на нервы. Влияние ее на них настолько же несомненно, насколько оно несомненно по отношению к железу.

Несмотря на такой категоричный вывод высокоавторитетной научной комиссии, магнит не стал распространенным терапевтическим средством, так как последующее осуждение учения А. Месмера о животном магнетизме было автоматически перенесено на этот «минеральный магнетизм».

Оживление интереса к лечебному действию магнита наблюдается примерно через 100 лет уже в связи с модной тогда металлотерапией. Итальянские медики во главе

с Мажжигорани и французские психиатры школы Шарко отмечали, что действие постоянного МП (ПМП) наиболее ярко проявляется у больных истерией. Говоря о магните, французы Бине и Фере утверждали, что агент этот не представляет ничего таинственного. Он действует на нервную систему, как слабый электрический ток, производя постоянное периферическое раздражение.

Английские исследователи относились скептически к таким сообщениям французских коллег, поскольку эффект зависел от индивидуальных особенностей человека и не всегда воспроизводился в 100% случаев.

В России вопрос о влиянии МП на нервную систему обсуждался в 1879 г. на заседании общества русских врачей. Доктор В. И. Дроздов сообщил, что у людей возникают неспецифические ощущения в месте приложения магнита.

В 1881 г. в Петербурге вышла книга Н. И. Григорьева «Металлоскопия и металлотерапия», где были обобщены сведения о лечебном действии магнита.

Однако лечебные свойства ПМП оказались менее эффективными в сравнении с вновь появившимися методами электротерапии (д'арсонвализация, диатермия, поле УВЧ и т. д.), и потому медики стали уделять меньше внимания этому физическому фактору. Кроме того, критики положений Шарко и его учеников полагали, что многие эффекты, приписываемые ПМП, могли иметь психогенное происхождение. Хотя в Германии создавались специальные аппараты для магнитотерапии, известный немецкий физиолог Германи (1888 г.) в опытах на нервно-мышечном препарате лягушки, на излюбленном объекте исследований физиологов XIX в., не обнаружил влияния ПМП, что позволило вновь на долгие годы поставить под сомнение сам факт биологического действия ПМП.

К концу XIX столетия электротехника уже стала широко применяться на производстве и в быту, зарождалась радиотехника, в 1895 г. были открыты рентгеновы лучи. Физики научились создавать искусственно ионизирующие и неионизирующие излучения.

В начале XX в. в Харькове было опубликовано двухтомное исследование известного физиолога В. Я. Данилевского под названием «Исследования над физиологическим действием электричества на расстоянии». Эти книги можно считать первым пособием по электромагнитной биологии, поскольку здесь впервые обсуждались общие

вопросы действия естественных и искусственных ЭМП на различные биологические системы. Большую часть этого труда составило описание реакций нервной системы на ЭМП. Но данная публикация явилась скорее итогом проделанного, чем началом развития интересной области биологической науки.

Продолжая «магнитную» линию рассказа, я должен переместиться на полвека вперед, к 1948 г., когда в Перми был опубликован сборник «Биологическое и лечебное действие магнитного поля и строго-периодической вибрации» под редакцией физика В. И. Кармилова, физиолога М. Р. Могендовича и клинициста А. В. Селезнева. Через год в СССР была защищена первая кандидатская диссертация по магнитобиологии Р. Г. Скачедуб, посвященная влиянию магнитного поля на проницаемость мышечной ткани. Тогда еще не писали авторефератов диссертаций, и о самом факте защиты мне удалось недавно услышать из уст самого автора. Через два года после этого в Перми появилась вторая кандидатская диссертация по магнитобиологии. О. С. Шерстнева назвала ее «Об изменениях фагоцитоза под влиянием магнитного поля, электронаркоза и химического наркоза». При воздействии МП на голову кролика отмечали увеличение фагоцитарной активности лейкоцитов периферической крови. Следовательно, в условиях целостного организма МП оказывает влияние на свойства крови прежде всего через ЦНС.

Пермский период в развитии магнитобиологии закончился в начале 50-х годов из-за смерти инициатора этих исследований В. И. Кармилова. Остались от этого периода две диссертации, сборник и несколько статей. Прошло еще 8 лет, прежде чем в МГУ была защищена диссертация автором этих строк. Она была третьей кандидатской диссертацией по магнитобиологии в СССР и имела название «К физиологическому анализу действия магнитных полей на животных».

Но в эти годы в далеком Чикаго в Иллинойском университете начинали магнитобиологические исследования два физика, супруги М. и Ж. Барноти. Хотя они, уделяя основное внимание системе крови, сами не исследовали реакции НС на МП, их организаторская деятельность проявилась в проведении трех биоманнитных симпозиумов (1961, 1963 и 1966 гг.) и в издании двух сборников (1964 и 1969 гг.) под названием «Биологическое действие магнитных полей». В сборниках и тезисах симпозиумов опубли-



ликовано значительное число работ по магнитной нейрологии, в том числе и наши работы.

К 70-м годам супруги Барноти ушли на пенсию, и магнитобиология как самостоятельная ветвь биофизики в США перестала существовать, влившись (по крайней мере организационно) в общее русло биоэлектромагнитных исследований, где тон задают исследования биологического действия микроволн.

В 1978 г. в США было создано Биоэлектромагнитное общество, которое проводит свои ежегодные собрания, а с 1980 г. выпускает ежеквартальный журнал «Байоэлектромагнетик».

В СССР магнитобиология сохраняет свою специфику, хотя иногда ее проблемы объединяются вместе с вопросами биологического действия статических и низкочастотных ЭП, а также других ЭМП.

Биологическое действие МП и ЭП в СССР впервые обсуждалось коллективно на Всесоюзном симпозиуме по биологическому действию ЭМП радиочастот в Институте гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР (Москва) в 1963 г. Эти же проблемы частично поднимались на подобных симпозиумах в 1968 и 1972 гг.

Секция «Влияние на организм магнитных полей» работала на конференциях ЦНИЛ Томского медицинского института в 1964 и 1965 гг. На этих конференциях присутствовали докладчики из других городов СССР. Вообще Томск один из самых «магнитобиологических» городов; начиная с 1965 г. и по сей день этот город поставляет добротные диссертации по магнитобиологии, а с 1978 г. издательство Томского государственного университета издает сборники «Живые системы в электромагнитных полях».

Междисциплинарный характер исследований по электромагнитной биологии приводит к тому, что соответствующие доклады с 1963 г. появляются на Всесоюзных конференциях по бионике.

В сентябре 1975 г. в Болгарии состоялась Первая международная конференция по основным направлениям бионики, которая коротко называлась «Бионика-75». Кроме плановых докладов и дискуссий на этой конференции по инициативе болгарских исследователей была организована сверхплановая дискуссия на тему «Бионические проблемы магнитобиологии». Здесь впервые стали обсуждать междисциплинарные вопросы информационной значимости

МП для биологических объектов, возможности управления с помощью МП деятельностью нормального и патологического организма и физико-химические механизмы биологического действия магнитных полей.

Так зарождается интеграция усилий ученых социалистических стран в области электромагнитной биологии.

В пределах СССР координационная деятельность секции бионики Научного совета по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР началась с 1966 г., когда было создано в Москве I Всесоюзное совещание по влиянию магнитных полей на биологические объекты. Второе подобное совещание проводилось в 1969 г.

С 1970 г. в Москве работает постоянно действующий семинар «Биологические системы и магнитные поля» Научного совета по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР. На ежемесячных его заседаниях обсуждаются результаты магнитобиологических работ не только исследователей из Москвы, но из многих других городов СССР. Подобные семинары работают в Томске, Риге, Саратове, Саранске, Ижевске и в других городах.

С 1971 г. ежегодно проводятся всесоюзные магнитобиологические симпозиумы: «Реакции биологических систем на слабые магнитные поля» (Москва, 1971 г.), «Гигиеническая оценка магнитных полей» (Москва, 1972 г.), «Влияние искусственных магнитных полей на живые организмы» (Баку, 1972 г.), «Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты» (Белгород, 1973 г.), «Магнитное поле в медицине» (Фрунзе, 1974 г.), «Влияние магнитных полей на биологические объекты» (Калининград, 1975 г.), «Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха» (Ялта, 1975 г.), «Применение магнитных полей в клинике» (Куйбышев, 1976 г.), «Клиническое применение магнитных полей» (Ижевск, 1977 г.), «Применение магнитных полей в медицине, биологии и сельском хозяйстве» (Саратов, 1978 г.), «Применение магнитных полей в клинической медицине и эксперименте» (Куйбышев, 1979 г.), «Магнитобиология и магнитотерапия в медицине» (Витебск, 1980 г.).

Труды перечисленных симпозиумов и конференций составляют только малую часть литературы, которая разбросана по различным журналам и изданиям (рис. 1).

После выхода в свет сборника работ по магнитобиоло-

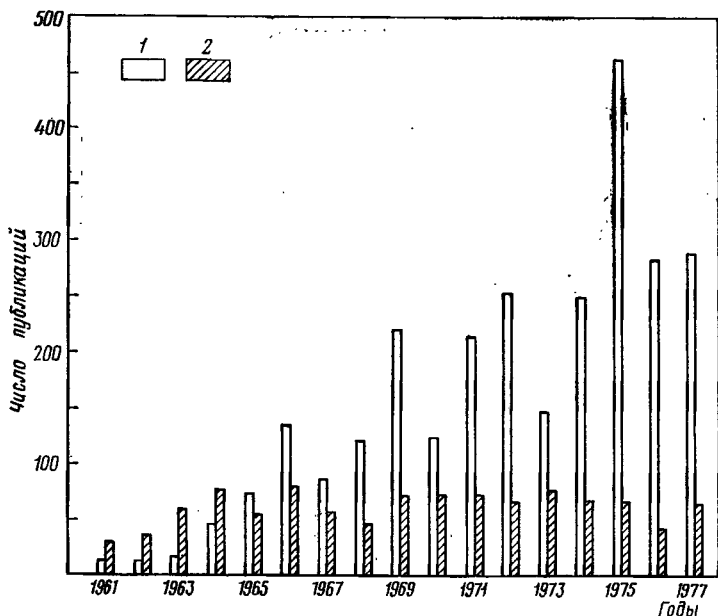


Рис. 1. Динамика советских (1) и зарубежных (2) публикаций по магнито-биологии за последние годы

Ордината — число публикаций, абсцисса — годы

гии «Влияние магнитных полей на биологические объекты» [1971], изданного Научным советом по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР, было издано несколько монографий и написаны обзорные статьи. Защищены десятки диссертаций по отдельным проблемам биологического действия МП. Появились библиографические указатели. В 1978 г. вышел из печати второй сборник Научного совета по комплексной проблеме «Кибернетика» под названием «Реакции биологических систем на магнитные поля».

На сегодняшний день существует не менее четырех тысяч литературных источников по биологическому действию МП, большинство из которых появилось в последнее десятилетие. Примерно половина публикаций посвящена реакциям нервной системы на МП. О магнитобиологии говорят и в учебниках, и в энциклопедиях. О ней снимаются кинофильмы.

В биологическом действии МП теперь уже мало кто сомневается, но на вопрос о том, как реализуется это действие, еще нет удовлетворительного ответа. Поэтому физико-химическому и физиологическому механизму влияния МП на биологические системы уделяется основное внимание на всех конференциях и симпозиумах.

В 1978 г. основана секция «Электромагнитобиология» при Научном совете по биофизике и Научном совете по радиобиологии АН СССР. В состав этой секции вошла подсекция «Биологическое действие статических и низкочастотных магнитных и электрических полей». Если магнитные поля прожили до этого союза бурную жизнь в биологии и медицине (о чем кратко рассказано выше), то ЭП вели достаточно скромное существование.

Основатель электрофизиологии итальянский исследователь Б. Гальвани впервые описал в 1791 г. влияние электричества на расстоянии, исследуя сокращения нервно-мышечного препарата лягушки при искровом разряде электрической машины.

Таким образом, почти одновременно, но независимо друг от друга было установлено влияние электричества и магнетизма на функции нервной системы, но электричеству (имеется в виду его контактное воздействие) повезло больше. В XIX в. зародилось и в XX в. продолжает победное шествие электрофизиология нервной системы, связанная с контактным раздражением нервной ткани и с регистрацией биопотенциалов. Электрическое поле рассматривается при эфалтической передаче в нервной системе и при изучении поведения электрических рыб. Организационные мероприятия по изучению биологического действия ЭП нам неизвестны, хотя отдельные доклады на эту тему появляются на конференциях по биоэффекту высокочастотных ЭМП.

Биологическое действие поля ультравысокой частоты (УВЧ) было обнаружено раздельно Д'Арсонвалем и Теслой уже через три года после того как это поле было получено Герцем в 1888 г. За прошедшие 90 лет вопросу о влиянии поля УВЧ на живой организм посвящено много обобщающих публикаций.

Особенно интенсивно биологическое действие полей УВЧ изучалось в двадцатых и тридцатых годах нашего столетия, когда отмечалось, что нервная система и церебральная, и особенно вегетативная, весьма чувствительны к воздействию волн ультравысокой частоты.

Следует заметить, что изучение влияния поля УВЧ на НС было вызвано в основном гигиеническими запросами. Наиболее интенсивно биологическое действие поля УВЧ изучалось в довоенные годы, а вскоре после второй мировой войны исследователи, интересовавшиеся этими проблемами, переключились на изучение биологического действия ионизирующих излучений или поля сверхвысокой частоты (СВЧ).

Поле СВЧ (микроволны) на шкале электромагнитных колебаний располагается рядом с диапазоном УВЧ. Поэтому неудивительно, что многие исследователи указывают на значительное сходство в биологическом действии полей УВ и СВЧ. Однако отмечается большее термическое действие и увеличение возможностей строго локального влияния поля СВЧ.

Характеристику современного состояния дел начать следует с того, что неврологические аспекты электромагнитной биологии, основанные на учениях И. М. Сеченова, Н. Е. Введенского и И. П. Павлова, считаются традиционно советскими областями исследований (и других стран, например, Польши и Чехословакии). В результате таких исследований в 50-х годах в социалистических странах был установлен предельно допустимый уровень (ПДУ) облучения радиоволнами на производстве, равный  $10 \text{ мВт/см}^2$ , а в США и других капиталистических странах на 3 порядка выше, составляя  $10 \text{ Вт/см}^2$ . Беспрецедентное для научных положений различие в тысячу раз требовало разумных объяснений, которые не могли ограничиться только областью чистой науки.

Если верить американскому журналисту П. Броудеру, выпустившему в 1977 г. большую книгу популярного характера «Облученная Америка», то выходит, что только в 70-х годах американцы начали изучать влияние ЭМП на деятельность мозга.

На суперобложке упомянутой книги заявлено: «Микроволновая радиация может ослепить вас, изменить ваше поведение (курсив мой.— Ю. Х.), вызвать генетические нарушения и даже убить вас. Эту опасность скрыли от вас Пентагон, государственный департамент и электронная индустрия». Войдя в роль спасителя нации от электромагнитного загрязнения среды, журналист не мог раскрыть всей правды, но нарисовал правдоподобную картину развития исследований по биологическому действию ЭМП.

Можно констатировать, что разнообразные исследования по электромагнитной биологии резко возросли в 70-х годах как внутри США (проекты «Пандора», «Сангвин», «Сифарер» и др.), так и через международные организации (Всемирная организация здравоохранения — ВОЗ, Международный союз радионаук (URSI) и др.). Достаточно активно такие исследования проводятся в рамках двустороннего соглашения между СССР и США об охране окружающей среды.

А всего лишь лет десять назад в этой области царила тишина. К жалобам персонала, обслуживающего радиолокационные станции, американцы немного прислушались после окончания второй мировой войны. Четыре года подряд начиная с 1957 г. собирались конференции трех военных служб (военно-морской, военно-воздушной и сухопутной). В итоге этих конференций признали только тепловой характер действия микроволн, установили указанный выше предельно допустимый уровень облучения неионизирующей радиацией, проигнорировали сообщения о возможном нетепловом влиянии на деятельность ЦНС и стали свертывать эти исследования.

Возобновление исследований по электромагнитной биологии в США носит взрывной характер. Отправной точкой возрождения интереса к биологическому действию ЭМП считают правительственный Акт о радиационном контроле здоровья, принятый конгрессом в 1968 г. Руководство этими исследованиями было передано Бюро радиационного здоровья (Роквилл, штат Мэриленд), которому, кроме других забот, предстояло теперь контролировать микроволновые печки, выпускаемые в США для домохозяек (здесь ПДУ сразу снизили до  $5 \text{ мВт/см}^2$ ). Увеличилось число учреждений, где стали изучать действие ЭМП различных диапазонов.

Возрастает активность представителей в этой области науки на международной арене, что считается экономически выгодным. Результатом такой активности явился Международный симпозиум в Варшаве (1973 г.), поддержанный ВОЗ, Министерством здравоохранения, образования и социального обеспечения США (которому подчиняется упомянутое выше Бюро радиационного здоровья) и соответствующим министерством ПНР, а также Международный симпозиум в г. Айрли (штат Вирджиния, США), поддержанный МСРН и Международной ассоциацией радиационной защиты (1977 г.). В г. Мэриленд

(штат Флорида) состоялся советско-американский симпозиум «Гигиена окружающей среды» (1976 г.). В Хельсинки симпозиум по биологическому действию ЭМП был включен в программу XIX Ассамблеи МСРН (1978 г.). Подобный симпозиум состоялся и на XX Ассамблее МСРН в Вашингтоне (1981 г.).

Однако основные работы были сосредоточены внутри США с привлечением к работе исследователей разных специальностей. Некоторые результаты этих исследований можно выявить при анализе публикаций трудов отдельных симпозиумов и конференций.

После девятилетнего перерыва симпозиум по биологическому действию и гигиенической оценке микроволновой радиации состоялся в Ричмонде (1969 г.) при поддержке Вирджинского государственного университета. На этом симпозиуме впервые работала секция, где обсуждались доклады по влиянию ЭМП на нервную систему. На секции было заслушано 5 таких докладов (а всего их было 31).

Задачи симпозиума его руководитель биофизик С. Ф. Клири сформулировал в четырех пунктах: 1) подведение итогов работ за несколько лет; 2) влияние ЭМП на ЦНС; 3) измерение ЭМП; 4) уяснение ПДУ; 5) изучение механизмов биологического действия ЭМП.

Основной доклад, где были отражены в основном собственные исследования, сделал А. Фрай. Р. Макаффи доказывал тепловое действие ЭМП на периферические нервы.

Профессиональный нейропсихолог Д. Джастесен сообщил о затормаживании выработанных навыков у крыс при воздействии ЭМП. Канадские исследователи Дж. Теннер и К. Ромеро-Сиерра отметили изменение поведения птиц в ЭМП. К. Додж доложил о работах советских исследователей в этой области. Важно подчеркнуть, что перечисленные докладчики активно работают по указанной тематике до сих пор.

Жанет Хилер, выступившая с обзором советских работ по клинической оценке действия ЭМП представляла Службу телекоммуникационной политики при президенте, которая координирует работы в США по биологическому действию ЭМП.

На следующей конференции, проходившей через 4 года в Варшаве, реакциям НС на ЭМП было посвящено уже

почти 40% сообщений, через год (1974 г.) этот показатель достиг вначале около 50% (Конференция по биологическому действию неионизирующей радиации, созданная Нью-Йоркской академией наук), а потом и всех 100% (Конференция по взаимодействию мозга со слабыми электрическими и магнитными полями, созданная Массачусетским технологическим институтом). Можно считать, что к этому сроку (1974 г.) в США оформился стойкий интерес к реакциям НС на ЭМП.

Анализ докладов на последующих конференциях показывает, что неврологические доклады составляют 40—50%, а их методологический и методический уровень непрерывно возрастает.

На Варшавской конференции секция по изучению реакций НС решила в последующем: 1) проводить исследования при разных режимах облучения (наибольшее распространение получили воздействия низкочастотными модулированными микроволнами); 2) изучить электрическую активность мозга во время воздействия микроволн «под лучом» (наиболее перспективным является использование угольных электродов, а сама запись ЭЭГ «под лучом» интересна для обратной модуляции ЭМП в ритме наличной ЭЭГ); 3) уделить внимание изменениям метаболизма нервной ткани при воздействии ЭМП (наиболее интересны в этом плане исследования У. Эйди по связыванию меченого  $\text{Ca}^{45}$ ); 4) уточнить морфологические изменения мозга при действии ЭМП (важно участие глияльных элементов в реакциях на ЭМП, изменения в клеточной мембране и во внутриклеточных органеллах).

Хотя в решении это не нашло отражения, пятым важным направлением следует считать сенсорную индикацию ЭМП, которая связана в большей степени с явлением радиозвук, открытым А. Фраем.

Имеются сведения, что в мире проблемой биологического действия ЭМП занимается около 700 исследователей и число их продолжает увеличиваться, охватывая разные страны.

За последние годы американские исследователи подтвердили саму возможность влияния слабых ЭМП на функции НС, о чем раньше говорили только советские исследователи. ЭМП могут сами вызывать ощущения («радиозвук») и снижать чувствительность человека и животных к другим раздражителям, изменять электриче-



скую активность мозга (особенно гипоталамуса и коры), нарушать процессы формирования навыков, процессы хранения информации в мозгу и ее воспроизведения. Эти неспецифические изменения в ЦНС могут служить основой для изучения возможности направленного влияния ЭМП разных параметров на отдельные специфические функции ЦНС.

Когда речь заходит о пороговой плотности потока мощности (ППМ) при исследовании реакций ЦНС и ЭМП, в США обращаются к своему стандарту ( $10 \text{ мВт/см}^2$ ) как к точке отсчета. Это обстоятельство нашло отражение в современной зарубежной литературе по биологическому действию микроволн, в которой указаны последние достижения электромагнитной биологии.

Это свидетельствует, что за последние годы увеличилось число исследований по использованию различных показателей деятельности ЦНС при действии слабых ЭМП.

Если вспомнить, что У. Эйди исследует ЭМП, близкие по своим параметрам к ЭМП, создаваемым мозгом млекопитающих, а Т. Баллок изучает ЭМП, создаваемые некоторыми электрическими рыбами, то можно заключить, что сейчас начинают интенсивно изучать биологическое действие (в основном на ЦНС) ЭМП, близких по своим параметрам к естественным ЭМП биологического происхождения.

После радиочастотных ЭМП сегодня в мире начинают исследовать биологическое действие низкочастотных ЭМП, среди которых на первое место претендуют ЭП промышленных частот (50 Гц в СССР и 60 Гц в США). Само название частот указывает на их распространенность, а успехи медико-биологических исследований начинают срывать с них маску безобидности.

Однако с биологической точки зрения фаворитами в этом необычном соревновании следует назвать ЭМП с частотами, близкими к естественным ЭМП. Естественность их может определяться или космо-геофизическими источниками, или биологическим происхождением.

В последнем случае преимущественная частота колебаний биопотенциалов головного мозга человека привлекает к себе наибольшее внимание как по своей актуальности, так и по некоторой доли таинственности, которая, возможно, связывает мозг с окружающим миром. Благо-

говение перед цифрами, свойственное пифагорейской школе греческих философов, в наше время сосредоточилось на альфа-ритме электроэнцефалограммы человека (ЭЭГ), занимающем частоту 8—12 Гц. Даже если нейрофизиолог изучает реакции мозга на ЭМП радиоволнового диапазона, он старается модулировать эти радиоволны частотами, близкими электроэнцефалограмме.

Возникает мысль о неслучайном сходстве преобладающих частот ЭЭГ мозга человека и низкочастотных пульсаций геомагнитного поля (ГМП). Эти пульсации варьируют в пределах 0,1—100 Гц, но наибольшая их амплитуда приходится на диапазон 8—16 Гц, т. е. диапазон альфа-ритма ЭЭГ человека. Не исключено, что при формировании мозговой деятельности в процессе эволюции использовались ритмы внешней среды для создания внутренних ритмов. Подобным образом окружающие неорганические вещества превращались в органические. Оказалось, что этот процесс, который мы хотели использовать только для иллюстрации превращения «неорганических» ритмов в «органические», тоже происходит при участии ЭМП. Как показали результаты недавних экспериментальных работ, абиогенный синтез аминокислот может происходить в темноте при наличии МП. В контрольных опытах, где поля не было, не было и абиогенного синтеза аминокислот.

Получается, что ЭМП являются необходимым условием зарождения жизни на Земле. И их роль не ограничивается ролью акушера, помогающего только при родах. Недавние палеонтологические данные свидетельствуют о том, что периоды инверсии геомагнитных полюсов сопровождаются изменением видового состава донной морской фауны. Некоторая экзотичность месторасположения фауны дает дополнительные аргументы в пользу биологической активности именно геомагнитного поля, а не климатических условий (они на дне моря относительно постоянны) и ионизирующих излучений (они поглощаются толщей воды).

Возможно, естественные ЭМП следует включать в ряд факторов эволюции живого мира, поскольку они могут принимать участие в образовании новых видов, т. е. включаться в самый главный биологический процесс. Некоторые экспериментальные работы показывают, что искусственные ЭМП могут обладать мутагенным действием. Особенно наглядно это свойство ЭМП выявляется в

экспериментах на микроорганизмах, которые составляют основу живого мира.

Однако, удалившись к истокам жизненных процессов, мы потеряли из виду наш основной объект — нервную систему. Возможно, эволюционная молодость этой системы определяет ее сродство с ЭМП. И если американские исследователи только в 70-х годах нашего столетия стали рассматривать нервную систему как основную мишень при воздействии ЭМП, то академик А. А. Ухтомский еще в 1932 г., характеризуя работы А. В. Леонтовича, писал в статье «К пятидесятилетию советской физиологии»: «Смелая мысль, что передача нервных влияний совершается здесь через электрическую индукцию с нейрона на нейрон, приобретает солидный фундамент, а вместе с тем получают известное освещение и многие, непонятные до сих пор, стороны работы нервной системы»<sup>1</sup>.

Отсюда можно сделать вывод, что нервная система является самым «электромагнитным образованием» организма, и потому внешние (искусственные или естественные) ЭМП влияют прежде всего на эту систему по принципу «поле на поле».

Конечно, имеются и другие механизмы воздействия ЭМП на нервную систему, куда следует отнести и индукцию ЭДС при действии низкочастотных магнитных полей, и нагревание при действии сильных микроволн, и многие другие эффекты, реализующиеся на квантово-механическом уровне. Выяснение роли отдельных механизмов в сложном процессе взаимодействия биологической системы с ЭМП является одной из основных задач электромагнитной биологии.

При выполнении этой задачи нельзя ни на минуту забывать, что само ЭМП является сложным событием материального мира, обладающим несколькими биотропными параметрами: интенсивностью, градиентом, вектором, частотой, формой импульса, экспозицией и локализацией. Эти семь биотропных параметров, как семь нот в музыке, позволяют разыгрывать сложные мелодии жизненных процессов.

Хотя мы опять удалились от нервной системы, такие удаления показывают тесную взаимосвязь насущных проблем электромагнитной нейрофизиологии с другими проблемами общей электромагнитной биологии. Не зная еще

---

<sup>1</sup> А. А. Ухтомский. Собр. соч. М.; Л., 1954, т. 5, с. 74.

последовательности реализации различных механизмов биологического действия ЭМП, мы уже можем сегодня нарисовать общую картину возникновения реакций на разных уровнях организации биологической системы.

Молекулярный уровень, хоть он и подвержен влиянию ЭМП, не имеет специфичности, свойственной только нервной системе. К примеру, активность фермента моноаминоксидазы, полученного из печени или из головного мозга крыс, будет одинаково изменяться под влиянием МП.

Уже на уровне главной структуры ЦНС, в синапсах, наблюдали с помощью электронной микроскопии существенные изменения после воздействия ЭМП. В области пресинаптической терминали отмечали набухание митохондрий и появление крупных полиморфных вакуолей, что свидетельствует о нарушении водного обмена. Вакуоли больших размеров возникали и в постсинаптических областях: дендритах и шипиках. Число синаптических пузырьков часто уменьшалось. Иногда пропадали микротрубочки.

С помощью микроэлектродной техники было показано, что импульсная активность у большинства нейронов головного мозга уменьшалась, хотя встречались отдельные нервные клетки, которые учащали частоту разрядов при воздействии ЭМП.

Кроме нервных клеток, в реакцию на ЭМП включались и глиальные элементы, играющие роль посредников между кровеносными сосудами и нейронами. Глиальные клетки изменяли способность окрашиваться серебром, меняли электронно-оптическую плотность ядра и протоплазмы и увеличивали свои отростки при воздействии ЭМП.

Скорее всего, участием глиальных клеток в реакциях на ЭМП можно объяснить появление медленных колебаний в электрической активности головного мозга. Характерно, что такие изменения в ЭЭГ возникали с большим латентным периодом (не менее нескольких секунд), продолжались длительное время после окончания воздействия и часто сопровождалась преобладанием тормозного процесса в ЦНС.

Последнее обстоятельство может объяснить замедление образования новых условных рефлексов у животных, находящихся в усиленных ЭМП. Уже закрепленные временные связи медленно и не всегда реализовались в этих условиях. Нарушались процессы хранения информации в ЦНС, т. е. память. Иными словами, ЭМП могут активно

вмешиваться в процессы мозговой деятельности животных, чаще всего нарушая их.

Хотя перенос данных, полученных в экспериментах на животных, в область человеческой практики представляет отдельную сложную проблему, гигиенисты решают эти вопросы. Правда, как было сказано выше, решают в разных странах по-разному. Определенным подтверждением правильности советской гигиенической политики в области неионизирующих излучений можно считать принятое правительством Канады снижение с февраля 1977 г. ПДУ с 10 до 1 мВт/см<sup>2</sup>.

Рассуждая о влиянии ЭМП на человека, мы не можем миновать привычного и обычного критерия воздействия — ощущения. Ощущаются ли ЭМП, не обладающие тепловым действием? Если раньше мы склонялись к отрицательному ответу на этот вопрос, то последние наши эксперименты заставляют изменить прежнюю позицию. Однако об этом мы расскажем подробнее в следующей главе.

Небольшой исторический экскурс показал, что история электромагнитной биологии делается на наших глазах.

Недавнее появление ЭМП в нейрофизиологических лабораториях уже позволяет буквально в новом свете увидеть нервные процессы на всех уровнях организации нервной системы: от квантово-механического до психологического. Это позволяет надеяться, что широкое применение ЭМП в качестве инструмента исследования деятельности нервной системы позволит решить не только практические вопросы медицины, связанные с гигиеной и терапией, но и раскрыть новые тайны в работе головного мозга.

## Глава 2

### СЕНСОРНАЯ ИНДИКАЦИЯ

«Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать», «Человек глазам не верит, хочет пощупать» — общежитейские мудрости демонстрируют своеобразную иерархию надежности восприятия внешнего мира. Мы привыкли оценивать этот мир своими ощущениями и только им обычно доверяем.

Может ли человек чувствовать ЭМП? Судя по сообщениям, которые в прошлом веке считались научными, не-

которые люди умели ощущать ПМП, как теперь говорят, в виде неспецифического воздействия. Чувство покалывания, слабого зуда, ползания мурашек, нагревания, охлаждения, тяжести и т. п. могут возникать от самых разнообразных причин, в том числе и от изменения условий кровообращения в каком-то участке тела. Речь идет о знакомом всем ощущении, которое характеризуют понятием «отсидел». Важно запомнить, что обсуждаемые нами процессы могут возникнуть не только в результате воздействия внешнего фактора на рецепторы кожи, но и в результате изменения кровообращения.

Кроме того, подобные ощущения могут возникать беспричинно (с точки зрения наблюдателя), хотя, конечно, внутренние причины для этого имеются. Такие ложные тревоги (ЛТ) получили права гражданства в сегодняшней психологии и учитываются в каждом конкретном исследовании действия слабого раздражителя.

Ощущение можно определять как психический образ какого-то воздействия на человека, отражающий происшедшие изменения среды. Свойства ощущения должны отражаться в его пространственно-временной, энергетической и модальной структуре. Следует помнить, что из большого многообразия факторов среды человек ощущает только малую часть, ограниченную нижним и верхним порогом и что количественно стимул и реакция связаны друг с другом. Известно, что имеется значительная вариация ответов на один и тот же по физическим параметрам стимул. Кроме того, структура поведения человека в значительной степени определяется задачей эксперимента, отношением испытуемого к ней, степенью его обучаемости.

Главным фактором, затрудняющим обнаружение слабых сигналов, является собственный шум сенсорной системы человека, и потому припороговые ситуации нужно оценивать и вероятностью правильных ответов, и вероятностью ЛТ.

В серии опытов, которые мы проводили с Ю. В. Берлиным, проверяли возможность возникновения ощущений у человека при воздействии ПМП разной индукции и градиента чаще всего на правую руку испытуемого. Источниками ПМП индукцией от 2 до 90 мТл (измерения проводили тесламетром с датчиком, основанным на эффекте Холла) служили как соленоиды и электромагниты, питаемые постоянным током от аккумуляторов, так и постоян-



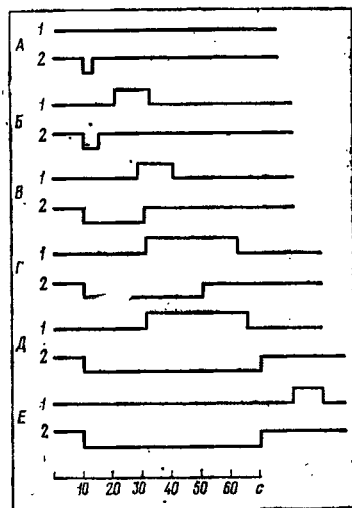
Рис. 2. Схема эксперимента по сенсорной индикации магнитных полей

Объяснения в тексте

Рис. 3. Характер сенсорных реакций на ПМП

1 — отметка реакции испытуемого;  
2 — отметка включения электромагнита;

АЕ — формы реакций



ные магниты. Испытуемый обычно сидел в кресле в темной заглушенной камере (рис. 2). Правая рука размещалась или в соленоиде внутри камеры или на картонной площадке вне камеры. Включение соленоида или поднесение магнита без касания подставки, где находилась выступающая из камеры рука, производилось находящимся вне камеры экспериментатором 6—10 раз за опыт

с интервалом 40—160 с. Длительность воздействия не превышала 60 с.

В одной из серии опытов испытуемый должен был определить наличие или отсутствие магнита под деревянной крышкой, расположенной на столе в обычной комнате. Ассистент, который не наблюдал процедуру угадывания, в случайном порядке размещал (или не размещал) магнит под крышкой. Экспериментатор, не знавший, что находится под крышкой, просил испытуемого положить руку на крышку, отсчитывал время угадывания по секундомеру и вел протокол опыта.

Во всех сериях опытов при возникновении ощущения испытуемый давал сигнал экспериментатору, который отмечал время возникновения ощущения независимо от того, совпадал этот ответ с воздействием ПМП или не совпадал (ЛТ).

Обнаружено, что некоторые испытуемые достоверно отличают время действия ПМП. Эти данные свидетельствовали о наличии сенсорной индикации ПМП избранных параметров. Сходная прочность реакции при использовании соленоида или магнита говорила о том, что человек ощущает именно ПМП, а не возможное слабое нагревание или вибрацию, которые могли возникать при включении соленоида.

Судя по характеру этих ощущений (тяжесть, покалывание и т. п.), ПМП, обладая проникающим действием, может непосредственно влиять на рецепторы кожного анализатора и на рецепторы кровеносных сосудов. Определение доли вклада этих рецепторов в изучаемую реакцию должно составить задачу дальнейших исследований.

На рис. 3 отмечен характер сенсорных реакций на ПМП. Если длительность воздействия при медленном (около 500 мс) создании ПМП не превышала 2 с, реакция не возникала (А). Если длительность воздействия увеличивали до 3—7 с, реакция появлялась уже после прекращения воздействия и ее латентный период не был меньше 7 с (Б). В пределах 60 с воздействия реакция, возникнув, длилась все время воздействия и еще несколько секунд после его прекращения (В, Г). При большей длительности воздействия мы наблюдали привыкание, когда испытуемый переставал ощущать действующее ПМП (Д). И, наконец, иногда (особенно часто при околопороговых интенсивностях ПМП) мы могли наблюдать реакцию на выключение (РНВ), т. е. испытуемый сигнала



лизовал о возникновении ощущения уже после воздействия (Е).

Чтобы исключить влияние тактики экспериментатора на процесс возможного угадывания испытуемым момента включения электромагнита или соленоида, опыты проводили разные исследователи. Включать или не включать источник МП каждую минуту решал жребий. Подбрасывание монеты входило в условия эксперимента.

Более современным следует считать форму автоматизированного эксперимента, когда экспериментатора заменяла электронно-вычислительная машина, которая каждую минуту, случайным образом, включала или не включала источник МП и отмечала с точностью до одной миллисекунды время подачи сигнала испытуемым независимо от того, действовало в это время МП или нет. В первом случае, нажимая на ключ, испытуемый выключал МП. Иногда записанные на магнитофонную ленту по методу случайных чисел сигналы заменяли в управлении ЭВМ, а регистрация времени воздействия и ответа испытуемого велась на чернилопишущем приборе.

Возможное влияние сопутствующих факторов (нагревания и вибрации) источника МП проверялось самыми различными способами. Например, набор электромагнитов помещался в закрытый ящик и крутился с определенной скоростью с помощью электромотора, создавая четко ощущаемые шум и вибрацию. На фоне этого «мешающего» действия посторонних раздражителей испытуемый мог отличить момент пропускания через вращающиеся электромагниты постоянного электрического тока от аккумуляторов, что создавало МП. Иногда специально увеличивали силу тока в обмотке электромагнита, чтобы вызвать его нагревание. В этом случае восприятие ПМП ухудшалось.

Эксперименты по определению пороговой интенсивности ПМП, создаваемого постоянным магнитом, проводили на двух испытуемых, на руку которых воздействовали ПМП интенсивностью 10,0, 1,0 и 0,1 мТл. В данной серии не учитывали различия в градиентах применяемых ПМП.

Была обнаружена разница между испытуемыми при использовании пороговых индукций ПМП. У одного испытуемого, чем выше была интенсивность ПМП, тем чаще и быстрее возникала сенсорная реакция. Пороговая интенсивность ПМП, создаваемого постоянным магнитом,

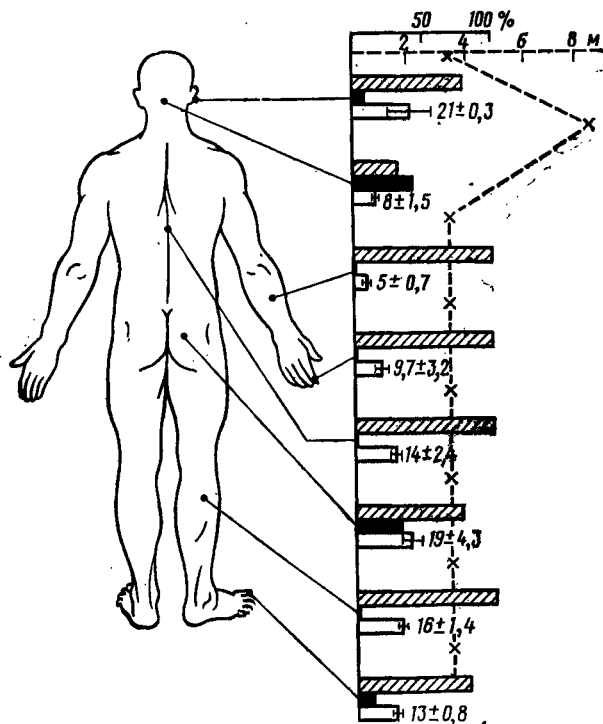


Рис. 4. Параметры сенсорного восприятия ПМП испытуемого С. в зависимости от локализации воздействия

Пунктирная линия — пороговая индукция ПМП (мТл); заштрихованный столбик — прочность реакции (%); черный столбик — число ложных тревог (%); белый столбик — средний латентный период реакции (с)

для сенсорных реакций в этом случае располагалась между 0,1 и 1,0 мТл.

Сделав формальный вывод о пороге воздействия ПМП, мы должны оговориться, что пороговая конценция разделяется не всеми психофизиками, т. е. не исключена возможность восприятия и «подпороговых» стимулов.

Сенсорная реакция определялась не только индукцией ПМП, но и площадью воздействия. Когда площадь воздействия уменьшили с 2500 до 75 мм<sup>2</sup>, пороговая индукция у того же испытуемого ПМП возросла с 1,0 до 5,0 мТл.

На рис. 4 изображена зависимость реакции на ПМП от локализации и интенсивности воздействия. Опыты были проведены на одном испытуемом. Видно, что параметры сенсорной реакции не зависят от локализации, если речь не идет о затылочной области головы. Здесь реакция возникает только после усиления ПМП до 20 мТл. Трудно предполагать, что кожная поверхность на затылке принципиально отличается от других участков кожной поверхности. Скорее всего, в данном случае ПМП влияет не только на кожу, но и на головной мозг непосредственно, что и приводит к снижению магнитной чувствительности. В какой-то мере такое предположение поддерживают опыты В. И. Николаева, в которых воздействие ПМП на затылок человека повышало порог электрического раздражения руки.

При разной локализации воздействия ПМП в широких пределах интенсивности вызывало неспецифическую сенсорную реакцию человека, в которую вовлекается ЦНС. Эти результаты подтвердили данные исследователей, опубликованные в прошлом веке. В последующей серии исследований мы решили использовать в качестве воздействующего фактора импульсное магнитное поле (ИМП) разной индукции и частоты, так как известно, что мозг наиболее активно реагирует на факторы ритмической природы.

Исследовали сенсорную реакцию на ИМП частотой 1, 10 и 100 Гц при длительности прямоугольного импульса 1 мс. Обнаружили, что прочность реакции была наибольшей при ИМП 10 Гц (85,7%), тогда как при ИМП 1 и 100 Гц прочность была равной и составляла 67%.

Большая выраженность сенсорной реакции на ИМП 10 Гц выявилась и при анализе динамики латентных периодов реакций. Наиболее высокий пик наблюдался на отметке 25 с для ИМП 10 Гц. Менее высокий пик на той же отметке характерен для ИМП 1 Гц, а перемещение пика на отметку 45 с отличает распределение латентных периодов реакций на ИМП 100 Гц.

Следовательно, при выяснении частотной зависимости биологического эффекта обнаруживается своеобразное «окно» в случае воздействия ИМП с частотой 10 Гц. Данное обстоятельство заставило нас дальнейшие исследования с ИМП проводить преимущественно на частоте 10 Гц. Эта частота альфа-ритма ЭЭГ человека еще не раз будет привлекать наше внимание.

При определении порога воздействия ИМП была выбрана индукция 3,0 и 0,5 мТл. Прочность сенсорной реакции при воздействии ИМП 3,0 мТл достигала 83,8%, а при воздействии ИМП 0,5 мТл — всего 43,6%. Иными словами, порог индукции ИМП для получения сенсорной реакции располагался между 3,0 и 0,5 мТл.

Последняя интенсивность была предельной при работе генератора, который включал 10 соленоидов последовательно. Но в предварительных опытах мы исследовали зависимость сенсорного эффекта от площади воздействия ИМП на руку. ИМП 10 Гц 0,5 мТл узкой локализации (включался один соленоид) не вызывало сенсорной реакции, а ИМП широкой локализации, когда включали с частотой 10 Гц все 10 соленоидов сразу, ощущалось испытуемыми. Эффект ИМП не зависит от места воздействия на кожную поверхность конечностей, но увеличивается с увеличением площади воздействия.

После такого вывода логично было перейти к изучению биологического действия ИМП переменной локализации, т. е. к изучению реакций на бегущее импульсное магнитное поле (БИМП).

Как и в случае применения ИМП, первым этапом исследования явилось выяснение зависимости параметров сенсорной реакции от частоты БИМП. В отличие от ИМП в опытах с БИМП изучали влияние не только частот 1, 10 и 100 Гц, но и 1000 Гц. Уместно заметить, что частота включения каждого соленоида в наборе для генератора ИМП была на порядок меньше, чем та, которая указывается нами и которая адресуется целостному организму. К примеру, при частоте БИМП 1000 Гц каждый соленоид создает ИМП с частотой 100 Гц и т. д.

При обобщении данных по перечисленным четырем частотам бросается в глаза лидирующее положение реакций на БИМП с частотой 10 Гц. Среди других исследуемых частот, расположенных достаточно кучно, выдвигается вперед частота 100 Гц, а частоты 1 Гц и 1000 Гц вызывают примерно одинаковые сенсорные реакции.

Следует еще раз напомнить, что БИМП 10 Гц сопровождается включением каждого соленоида с частотой 1 Гц. Отсюда следует вывод, что наибольшая реакция на БИМП 10 Гц формируется в головном мозгу, а не на периферии, где локализовано воздействие.

Субъективная оценка силы воздействия, судя по числу нажатий испытуемым на кнопку, также зависела от час-

тоты ИМП, хотя индукция МП, форма и длительность импульса в данном случае были одинаковыми (рис. 5).

Таким образом, наши испытуемые (одни лучше, другие хуже) сообщали о возникновении слабых ощущений (покалывание, чувство тяжести, ползание мурашек и т. п.) при воздействии магнитным полем на руку. Ощущение возникало через несколько секунд после включения источника магнитного поля и длилось еще несколько секунд после его выключения. Вибрация и нагревание не играли определяющей роли, так как ощущения возникали при действии постоянных магнитов. Для постоянного магнитного поля независимо от способа его создания порог располагался в области 5 мТл, т. е. в 100 раз превышал земное магнитное поле. Уместно еще раз заметить, что возникающие ощущения носили неспецифический, «древний», характер, а их интенсивность коррелировала с силой воздействия.

Прошлый век знал, что эти ощущения создаются ПМП, а для импульсных и переменных МП было известно другое ощущение, возникающее при действии этих физических факторов на голову человека.

Речь идет о том, что переменное МП (ПеМП) определенных параметров может ощущаться человеком в виде вспышек света (магнитофосфен). Считается, что магнитофосфен открыт примерно 90 лет назад, и к сегодняшнему дню существует более 40 разрозненных работ, посвященных этому явлению. Уже в начальных исследованиях было установлено, что магнитофосфен может возникать при действии на голову человека МП с индукцией свыше 20 мТл и частотой 10–100 Гц. Интенсивность зрительного ощущения оказывается наибольшей примерно при 20 Гц, и в этом случае частота его появления совпадает с частотой МП. При увеличении частоты ПеМП ощущение

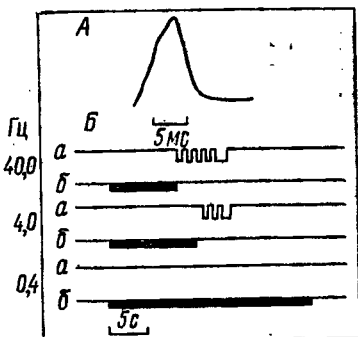


Рис. 5. Зависимость оценки сенсорной реакции от частоты воздействующего импульса

- А — форма импульса;  
Б — характер ответа испытуемого (а) при разной частоте (40, 4 и 0,4 Гц) импульсного магнитного поля (б) индукцией 10 мТ

ние возникает не на каждое изменение поля. При частоте выше 90 Гц эффект становится менее выраженным. Этот факт чаще всего объясняли возникновением ЭДС индукции, вызывающей раздражение сетчатки, и потому не связывали его с другими магнитобиологическими эффектами, называя иногда электрическим фосфеном.

В более поздних работах некоторые исследователи не соглашались с таким объяснением, так как по ориентировочным подсчетам ЭДС индукции на 3—4 порядка меньше напряжения, вызывающего электрофосфен. Предполагалось, что фосфен вызывается эффектом Холла или каким-то фотоманитным эффектом при активации светом электронной передаточной системы в сетчатке.

В работах последних лет по магнитосфену шведскими исследователями были обследованы тысячи людей с нормальным зрением и дальтоники. У нормальных людей порог ПемП располагался выше 10 мТл при частоте 20 Гц. Длительность последствий достигала 30 мин. В наших опытах были получены подобные результаты.

Исследование Н. А. Соловьева прямо указывало на то, что длительность ощущения светового воздействия зависит от продолжительности магнитного импульса. Если бы магнитофосфен объяснялся только наведением тока в момент изменения МП, то продолжительность магнитного импульса не оказывала бы на него никакого влияния. Следовательно, при анализе магнитофосфена мы имеем дело с более сложным явлением, чем электрофосфен.

Этот вывод поддерживается данными других исследований, где отмечалось влияние ПемП на устойчивость ясного видения у человека, на электроретинограмму земноводных и птиц, на выработанные условные световые рефлексy у рыб и птиц. В последнем случае отмечалось, что МП влияет на зрительные условные рефлексy сильнее, чем на звуковые. При выработке положительных условных рефлексy на свет и МП у рыб была обнаружена их взаимная генерализация. Таким образом, магнитофосфен становится частью проблемы, связанной с влиянием ЭМП на аналнзаторную деятельность НС.

Если МП ощущаются человеком через кожный и зрительный анализаторы, то микроволны проникают в чувственную сферу через кожный и слуховой анализаторы. Причем кожным анализатором они воспринимаются в виде тепла, а слуховым — в виде «радиозвука», обнару-

женного американским исследователем А. Фраем в 1961 г. Только импульсно-модулированные (но не непрерывные) поля СВЧ люди ощущали как жужжание, щелканье или свист в зависимости от режима модуляций. Антишумовые пробки увеличивали чувствительность к полю СВЧ. Искусственный шум интенсивностью до 90 дБ снижал чувствительность «радиозвука». Были найдены пороговые интенсивности ЭМП для радиозвука ( $0,4 \text{ мВт/см}^2$  в среднем). Предполагается, что эти ощущения возникают при локальном воздействии на височную область коры головного мозга, т. е. на высшие слуховые центры. Другие исследователи связывают это ощущение с раздражением рецепторного аппарата улитки. Считают, что животные тоже воспринимают импульсные микроволны в виде звука, так как условные рефлексy, выработанные на звук, генерализовались с импульсными полями СВЧ. Подобную генерализацию мы видели в своих опытах на рыбах, когда использовали свет и МП.

Специфичность, проявляющаяся в том, что ПемП лучше ощущается зрительным анализатором, а импульсное поле СВЧ — слуховым, ждет еще своего объяснения, но путь к этому объяснению, по нашему мнению, ведет через анализ различных свойств биологической системы и в меньшей мере — через анализ параметров ЭМП.

Было распространено мнение, что действие слабых ЭМП на человека реализуется только на субсенсорном уровне. Явления магнитофосфена, радиозвука, тепловое ощущение при воздействии ЭМП радиочастотного диапазона и тактильное при действии МП считались слишком случайными специальными событиями, чтобы повлиять на изменение распространенного мнения. Однако экспериментальные данные последних лет заставляют пересмотреть мнение об исключительном субсенсорном действии ЭМП.

Обычно исследователи, изучающие в своей конкретной работе привычные раздражители (свет, звук), чаще идут по пути от осознаваемого к неосознаваемому. Изучаемый ими феномен, как водоплавающая птица, ненадолго ныряет в глубины субсенсорного. Сенсорные процессы, возникающие в ЦНС человека при действии ЭМП, скорее напоминают летающих рыб, которые только изредка появляются на поверхности моря субсенсорных процессов.

Объективное изучение таких субсенсорных процессов наиболее интенсивно стало проводиться в XX в., когда

вошли в практику нейрофизиологических лабораторий методы регистрации биопотенциалов мозга, кожно-гальванической реакции (КГР), прецизионные методы измерения величины стимулов и т. п. Возвращаясь к характеристике реакций ЦНС, вызываемых ЭМП, мы можем отметить изменение порогов обонятельного раздражения у человека при действии поля СВЧ, повышение порога электрического раздражения в случае влияния МП на голову человека и снижение устойчивости ясного видения при подобном воздействии.

Довольно интенсивно изучалось влияние ЭМП на время простой двигательной реакции человека при действии световых, звуковых или тактильных стимулов, причем чаще отмечали замедление этих реакций. Известно, что ЭМП влияют на электрические свойства кожи верхней конечности человека, и это может выражаться в изменении КГР.

Свойства кожной поверхности ребра правой ладони испытуемых мы (в соавторстве с Г. М. Бувиным, Ю. В. Берлиным и В. В. Киселевым) определяли с помощью прибора, измеряющего величину отражения поля СВЧ. Поскольку эта величина прежде всего зависела от диэлектрической проницаемости кожи, мы решили назвать ее кожной диэлектрической реакцией (КДР).

У испытуемых (мужчин и женщин) мы в течение 15 мин измеряли КДР по три раза с интервалами в 5 мин. Во время четвертого измерения на левую руку испытуемого подавали МП с экспозицией 2 мин. КДР во время действия поля регистрировали непрерывно.

С помощью метода сенсорной индикации установили, что на локальное воздействие ИМП у тех же испытуемых возникают сенсорные реакции, порог которых лежит между 0,1 и 1,0 мТл. Затем производилось сравнение чувствительности применяемых методов.

Результаты экспериментов по регистрации КДР у человека на действие МП различных параметров показали, что ее увеличение происходило в подавляющем числе случаев. Причем увеличение значений КДР происходило тем чаще, чем большей была индукция ИМП, которыми воздействовали на испытуемых. Если, например, все применявшиеся МП расположить по мере увеличения их индукции: 1,0; 2,5; 5,0 и 10,0 мТл, то соответствующий ему ряд увеличения значений КДР примет вид: 44,0%, 55,0%, 62,8% и 79,0%.



Изменения значений КДР были достоверны только для ИМП индукцией 5,0 и 10,0 мТл. Следовательно, порог для ИМП находится между 2,5 и 5,0 мТл при регистрации реакций человека на ИМП методом КДР.

Обнаружили, что ПеМП 50 Гц, индукцией 5,0 мТл лежит в области подпороговых величин, тогда как на действие ИМП 5,0 мТл организм человека отвечал достоверными изменениями значений КДР. Из этого следует, что ИМП физиологически более активно, чем ПеМП. Полученные данные находятся в согласии с результатами других исследователей, отмечавших, что ИМП способно вызвать более выраженный эффект, чем ПеМП тех же напряженностей.

Итак, с помощью метода КДР нам удалось зарегистрировать реакции организма человека, вызванные периферическим воздействием МП. Эти реакции заключаются в изменении отражательных свойств кожи, изменении при этом КДР (увеличении ее), а значит, по-видимому, и в увеличении гидратации кожи. Порог реакций для ИМП лежит между 2,5 и 5,0 мТл, а для ПеМП — между 5,0 и 30,0 мТл.

Если сравнить результаты по сенсорной индикации, полученные при воздействии на человека ПМП, с результатами, которые мы получили при регистрации реакций на воздействие ИМП, можно сделать вывод, что человек лучше чувствует ИМП, чем ПМП.

Это лишний раз убеждает нас в том, что человек на основании своих субъективных ощущений способен выявить МП.

Метод сенсорной индикации оказался чувствительнее метода регистрации КДР. Так, порог сенсорной реакции у одних и тех же испытуемых для ИМП располагался между 0,1 и 1,0 мТл, а для метода КДР порог находился между 2,5 и 5,0 мТл. С помощью метода сенсорной индикации была выявлена индивидуальная чувствительность людей к ПМП и ИМП, характеризующая их различные индивидуальные психофизиологические особенности. Как раз для практических целей электромагнитной гигиены и терапии важно знать, что для выработки норм воздействия необходимо учитывать индивидуальные особенности человека.

Результаты, описанные в данной главе, показали, что ЭМП могут влиять на человека, но вредным или полезным будет такое влияние, следует изучать особо.

### ЕСТЬ ЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БОЛЕЗНЬ?

Как нет у человека специфических электромагнитных ощущений, так нет и специфических клинических проявлений воздействия ЭМП, что затрудняет диагностику изменений, наблюдаемых у людей, работающих в ЭМП. То, что такие изменения могут возникнуть, и прежде всего со стороны нервной и сердечно-сосудистой систем, — это уже ясно всем, но спор идет о том, когда, при каких интенсивностях возникают существенные изменения в деятельности человеческого организма и как эти изменения измерять и называть.

Эта гигиеническая проблема зародилась в тридцатых годах нашего столетия и была связана вначале с широким внедрением полей УВЧ в различные отрасли народного хозяйства. Речь шла только о профессиональной гигиене.

В первые годы после второй мировой войны начались работы по гигиеническому нормированию полей СВЧ, поскольку именно этот диапазон ЭМП в наше время нашел широкое применение. Для современного человека поля СВЧ ассоциируются с кухонной плитой, радаром, телевидением, телефоном и спутниковой связью. Это аппарат диатермии, охранная сигнализация и приспособление для открывания дверей гаража. Микроволны и радиочастотное нагревание используют на обувных фабриках, для склеивания фанеры, для поджаривания кофейных зерен, для уничтожения сорняков и насекомых и в сотнях других промышленных и сельскохозяйственных процессах.

Вслед за полями СВЧ в орбиту гигиенических исследований вошли МП и ЭП и низкочастотные ЭМП, которые также широко используются в нашей жизни.

Можно считать, что гигиенической науке дан социальный заказ по оценке степени вредности различных ЭМП, интенсивность которых в определенных диапазонах частот за время научно-технической революции возросла на несколько порядков.

Несколько лет назад некоторыми советскими гигиенистами выделена новая «радиоволновая болезнь», которая возникает при длительном воздействии на человека ЭМП

радиочастотного диапазона. Появляются сообщения о возможности возникновения «магнитной болезни» при действии МП на человека. Термины взяты в кавычки, поскольку они не являются общепризнанными. Таким образом, со стороны патологии становятся практически актуальными проблемы биологического действия ЭМП. Это обстоятельство еще было отражено в директивных решениях XXV съезда КПСС «Основные направления развития народного хозяйства СССР за 1976—1980 годы», в которых сказано: «Разработать новые методы и средства борьбы с ... воздействиями электрических и магнитных полей и излучений»<sup>1</sup>.

Признание важности гигиенической стороны проблем биологического действия ЭМП влечет за собой их оценку не только в профессиональной, но и в коммунальной гигиене. ЭМП со скоростью света распространяются во все стороны от места их генерации. Возникает проблема искусственного «электромагнитного загрязнения» среды, что отмечалось в специальном решении Всемирной организации здравоохранения. Имеются сообщения, что в районах с повышенным уровнем ЭМП возникают изменения в жизнедеятельности животных, связанные прежде всего с нарушениями функционирования НС [Сердюк, 1977].

Логика таких исследований приводит к изучению влияния колебаний ЭМП естественного происхождения на человека, животных, растения и микроорганизмы. Факт корреляции изменений естественных ЭМП и биологических процессов ставит проблему экологической значимости ЭМП. Ее поддерживают палеонтологические сведения о смене видового состава глубоководной фауны Атлантического океана во время инверсий магнитных полюсов Земли и другие данные палеонтологических исследований.

Получается, что кроме «электромагнитного загрязнения» возможен и «электромагнитный голод» для биологических систем. Отсюда вытекает необходимость более интенсивного исследования биологического действия ослабленных (в сравнении с естественными) ЭМП. В этом случае на первый план также выступают нарушения НС, особенно у развивающегося организма [Копанев и др., 1979].

Таким образом, для интенсификации жизнедеятельности организма (и прежде всего организма человека)

---

<sup>1</sup> Материалы XXV съезда КПСС. М.: Политиздат, 1976, с. 174—175.

необходима не только и не столько охрана окружающего электромагнитного фона, но и оптимизация электромагнитных характеристик окружающей среды. Важно научиться регулировать биотропные параметры ЭМП соответственно потребностям организма, создавая своеобразный электромагнитный комфорт.

Приходится констатировать, что сегодня решаются практические вопросы нормирования только усиленных искусственных ЭМП. От ЭМП не умирают, хотя в экспериментальных условиях можно вызвать смерть животного микроволновым нагреванием.

Нормирование неионизирующих излучений в диапазоне СВЧ-полей создало сложную ситуацию, но уже только в среде гигиенистов. Разный методологический подход к этой проблеме привел к тому, что, как мы уже указывали на с. 13, ПДУ в СССР и других социалистических странах на 3 порядка ниже, чем в США.

И в этом расхождении «виновата» нервная система. Советские исследователи, исходя из принципа нервизма, считают, что неблагоприятные изменения в деятельности нервной системы под влиянием поля СВЧ уже могут служить основанием для установления ПДУ. Американские исследователи исходят из наиболее примитивного на сегодняшний день биофизического механизма биологического действия полей СВЧ — из теплового действия этого физического фактора, которое проявляется только при достаточно сильной интенсивности воздействия.

За последние годы ранее острые разногласия начинают стираться в результате выполнения совместных программ по влиянию ЭМП на нервную систему.

Вопрос о норме безопасного облучения полями СВЧ, как и общие проблемы гигиены, должны учитывать не только биологические, но и социальные перспективы. Здесь социалистический строй демонстрирует свой гуманизм.

Удивляет отсутствие единства взглядов специалистов в трактовке выявленных при длительном воздействии ЭМП клинических изменений. Пожалуй, только в этой области говорят о разности научных подходов специалистов разных стран. Для ликвидации определенных разногласий целесообразно проводить совместные исследования по единой программе в целях объективизации проявлений воздействия фактора и изучения возможных ближайших и отдаленных последствий. Важное место на современном

Рис. 6. Синдромы  
радиоволновой болезни  
(схема)

1. **Вегетативный синдром**
2. **Астенический синдром**
3. **Астено-вегетативный синдром**
4. **Ангиодистонический синдром**
5. **Диэнцефальный синдром**

этапе гигиенического нормирования должно быть отведено не только изменениям со стороны нервной системы, но и результатам эпидемиологических исследований.

Обследование людей, работающих в условиях воздействия различных ЭМП, показывает возникновение (с увеличением стажа) неспецифических изменений в организме прежде всего со стороны НС. Это можно иллюстрировать на примере работ А. М. Вялова, в которых изучались реакции на МП, хотя сходные реакции вызывают и другие ЭМП. Хроническое действие МП приводило к функциональным нарушениям, которые можно свести к трем симптомокомплексам: 1) периферический вазо-вегетативный синдром; 2) астено-вегетативный синдром и 3) смешанный синдром. Отмеченные функциональные нарушения носят неспецифический характер и связаны с расстройством нейрогуморальной регуляции.

Другие авторы, изучающие клинические проявления действия ЭМП СВЧ-диапазона, выявляют пять синдромов: вегетативный, астенический, астено-вегетативный, астено-дистонический и диэнцефальный (рис. 6).

Предполагается, что при общих астено-вегетативных нарушениях функции высших отделов головного мозга могут изменяться как в результате поступления патологической импульсации от внутренних органов, так и в результате непосредственного действия ЭМП на мозг.

В клинических наблюдениях отмечали изменения эмоционально-волевой сферы, нарушение функций цереброспинальных аппаратов, вегетативно-сосудистой дисфункции, изменения гематологических и биохимических показателей.

Прежде всего работающие с ЭМП через какой-то срок предъявляют жалобы на раздражительность, несдержанность, нетерпеливость, гневливость, вспыльчивость, плаксивость. Через 1—3 года у некоторых работников появлялись чувства внутренней напряженности, суетливость. Нарушалось внимание и память. Появлялось угнетенное настроение, электромагнитофобия и другие патологические переживания. Нарушение сна возникало редко, но люди часто жаловались на малую эффективность сна, на утомляемость во второй половине рабочего дня.

Изменения спонтанной ЭЭГ у таких людей проходили в три этапа. Первый этап характеризовался преобладанием десинхронизации. На втором этапе выявлялся альфа-ритм с частотой, близкой к нижней границе нормы. На третьем этапе отмечали возникновение тета-ритма и веретен в альфа-диапазоне, что характеризует сонное состояние мозга.

Довольно часто отмечались жалобы на головные боли разной локализации, головокружения, а иногда шум в ушах и пелену перед глазами. Отмечали боли в мышцах, суставах и в костях. Возникало ощущение ползания мурашек и чувство зуда на кистях рук, если в процессе работы воздействию МП подвергались в основном руки.

При объективном исследовании НС обнаруживали:

- 1) положительный сенсibilизированный псевдосимптом Ромберга;
- 2) мелкий тремор кистей рук и языка;
- 3) оживление сухожильных и периостальных рефлексов.

Совокупность полученных данных позволяет заключить, что с увеличением стажа работы возникает кумуляция нарушений НС. В резолюции Международного симпозиума «Биологические эффекты микроволн и угроза здоровью» (Варшава, 1973 г.) предлагается расширить сотрудничество специалистов разных стран для рациональной гигиенической оценки ЭМП.

Иногда возникает вопрос, почему воздействие внешних усиленных ЭМП не вызывает катастрофических нарушений в деятельности мозга? Частично устойчивость мозга к ЭМП можно объяснить структурными особенностями нервной ткани, в которой каждая клетка имеет свою электрическую активность. Эти малые отдельные ЭМП удерживаются в несинхронном состоянии. Поэтому внешнее ЭМП не должно резко нарушать внутримозго-

вое ЭМП. Так, в локальном участке поверхности океана имеются многочисленные мелкие градиенты давления, и прохождение огромной волны прибоя мало влияет на них.

Другие вопросы, возникающие при гигиеническом нормировании ЭМП, связаны с разной чувствительностью к ЭМП анимальной и вегетативной нервной системы. Упомянутый диэнцефальный синдром указывает на большую заинтересованность вегетативной нервной системы. Вегетативная нервная система является в сравнении с анимальной нервной системой более древней частью общего нервного аппарата. Вегетативная нервная система выполняет адаптационно-трофическую функцию, не обладает строго метамерностью и отличается более медленными нервными процессами. Судя по этой замедленности, эта система может служить наиболее подходящим кандидатом для восприятия ЭМП. По признаку древности вегетативная нервная система тоже претендует на главную роль в процессах взаимоотношения организма с внешними ЭМП.

Нарисованная ранее картина симптомов, возникающих у лиц, работающих в ЭМП, отличается неспецифичностью, что заставляет обратиться к теории общего неспецифического синдрома известного канадского исследователя Г. Селье. Однако эта теория получила свое дальнейшее развитие при изучении в основном терапевтического действия ЭМП и других химических и физических факторов. К терапевтической оценке ЭМП мы теперь и переходим, отметив, что отсутствие тесной координации исследований гигиенического и терапевтического плана приводит к фрагментарности знаний единого процесса реагирования организма на ЭМП.

## Глава 4

### ТЕРАПЕВТИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ

Для медицинских целей ЭМП важны не только при гигиенической оценке фактора или при использовании их в диагностике, но и для физиотерапии. Если ЭМП радиочастотного диапазона (поля УВЧ и СВЧ) в нашем веке широко используются врачами и ветеринарами с лечебными целя-

ми, то магнитотерапия только начинает возрождаться, хотя зародилась она в глубокой древности. Нужно заметить, что термину «магнетизм» в медицине не повезло. Им обозначали то, что теперь называют гипнозом, массажем, телепатией, обаянием или уже никак не называют (например, бывший месмеризм), считая термин пережитком или атрибутом оккультных наук. Но сейчас речь не столько об истории медицины, сколько о ее современных достижениях, возникших на стыке разных естественных наук, главной из которых является физика.

Физики определяют магнетизм как форму взаимодействия между движущимися электрически заряженными частицами, а ответственность за передачу такого взаимодействия между пространственно разделенными материальными объектами возлагают на магнитное поле. Из такого определения следует, что магнетизмом обладают все объекты, включая и наш организм, поскольку каждая элементарная частица (а из таких частиц состоит любой материальный объект) обладает своими магнитными свойствами.

Хотя вездесущность и фундаментальность магнитного поля редко проявляются наглядно, каждый читатель знает, что гвоздь притягивается к магниту, а стрелка компаса ориентируется в магнитном поле Земли, стремясь одним своим концом указывать на север. Эти примеры с гвоздем и стрелкой для понимания механизма явлений требуют усилий воображения, чтобы увидеть причину механических перемещений указанных предметов в тех электрических токах, которые протекают на молекулярном уровне. Более наглядна связь между электрическим током и механическими перемещениями на примере электромотора, где ток заставляет крутиться ротор, отталкиваясь своим магнитным полем от магнитного поля статора.

С каждым днем МП все шире используется в разных областях науки и техники, и не надо быть пророком, чтобы предсказать, что магнетизм еще не раз удивит человечество. Велико значение этой области знаний в медицине и биологии. Установлено обезболивающее, противовоспалительное и противоотечное влияние МП, а также благоприятное действие при невротических расстройствах, при вегетативных полиневритах, сердечно-сосудистых заболеваниях, при нарушениях опорно-двигательного аппарата, при язвенной болезни, шоке, аллергии и других заболеваниях. Эти сведения обобщены в тезисах конференций



«Применение магнитных полей в клинике» (Куйбышев, 1976 г.), «Клиническое применение магнитных полей» (Ижевск, 1977 г.) и «Применение магнитных полей в медицине, биологии и сельском хозяйстве» (Саратов, 1978 г.). Создается иногда весьма тревожная ситуация, когда ЭМП начинает выступать в роли универсального лечебного средства.

Дело осложняется тем, что ставшие привычными в быту ЭМП иногда бездумно и широко применяются для терапевтических и профилактических целей людьми, не имеющими специальной медицинской и биологической подготовки. Ввести мораторий на применение ЭМП в медико-биологических целях не представляется возможным, но сформулировать методологические рекомендации для серьезных исследований уже сегодня необходимо. Этому сложному делу была посвящена Первая всесоюзная школа-семинар, проходившая в г. Томске в октябре 1976 г. Ее труды опубликованы недавно в сборнике «Введение в электромагнитную биологию» (Томск, 1979).

Прогресс в этой области исследований связан с построением теории повышения с помощью ЭМП резистентности организма к вредоносным воздействиям. В повышении резистентности организма важную роль играет ЦНС и в особенности гипоталамическая область головного мозга. Исследование и разработка теории повышения резистентности через воздействие ЭМП на НС только начинаются, но уже появились публикации об использовании МП в качестве противошокового мероприятия и другие публикации о лечебном влиянии ЭМП через влияние на НС. Однако построение теории требует обобщения наибольшего числа существующих фактов, а такое требование влечет за собой учет фактов, полученных и при других подходах к биодействию ЭМП.

Необходимо учитывать роль рефлекторного и центрального механизма в реализации терапевтического действия МП, значение локализации и экспозиции. В этом направлении особенно ярко выявляется чисто эмпирический подход к магнитобиологическим явлениям. Необходимо четко определить показания и противопоказания при магнитотерапии, параметры индивидуального подхода к каждому пациенту, объективные критерии эффективности магнитотерапевтических процедур и т. д.

Полученные к сегодняшнему дню данные подтверждают положение о том, что, подбирая параметры МП,

можно инициировать развитие адаптационных реакций.

Ростовские исследователи Л. Х. Гаркави, Е. Б. Квакина, М. А. Уколова [1979] расширили теорию стресса Г. Селье дополнительными этапами общего реагирования организма на раздражитель нарастающей интенсивности. Триада, состоящая из реакции тренировки, реакции активации и реакции стресса, может несколько раз возникать у организма при усилении воздействия, реализуясь на разных «этажах» через зону ареактивности.

Информативными показателями тех или иных стадий реакций могут служить картина белой крови, электрическое сопротивление кожи и характер аутофлоры. Конечно, эти внешние проявления реакций сопровождаются более глубокими изменениями в процессах нейрогуморальной регуляции.

Реакция тренировки поддерживается обычно слабыми раздражителями, реакции активации — раздражителями средней силы, а реакции стресса — сильными раздражителями. Длительное поддержание реакции тренировки является обычным уделом действительно здорового человека.

На основе учения об адаптационных реакциях совместно с клиницистами разработан метод лечения различных заболеваний путем развития и поддержания реакции активации с помощью ПемП. Для этого был использован серийно выпускаемый в СССР аппарат для магнитотерапии «Полюс». Нужно заметить, что врачи часто сами или с помощью знакомых инженеров конструируют соленоиды, электромагниты или постоянные магниты (называемые иногда магнитоэластами или магнитофорами, поскольку магнитный материал наносят на какую-то неметаллическую поверхность). Такое обилие аппаратов для создания МП затрудняет точное воспроизведение условий лечения.

В экспериментах на крысах показано не только терапевтическое действие, но и возможность задержки процесса старения при воздействии на животных ПемП.

Перечисленные обнадеживающие результаты позволяют надеяться, что выяснение конкретных нервных механизмов начальных этапов адаптационных реакций дает в руки медиков надежный способ для поддержания здоровья и лечения некоторых заболеваний. На этом пути уменьшения интенсивности воздействующего фактора экспериментаторы приблизились к уровню естественных ЭМП, о которых следует поговорить особо.

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Медицинская сторона экологического значения естественных ЭМП прежде всего находит выражение в корреляции между изменениями ЭМП и обострением различных заболеваний, хотя здоровые люди тоже небезразличны к этому фактору.

Среди анализируемых заболеваний первое место занимают сердечно-сосудистые, инфекционные, нервные и психические, а также глазные и другие заболевания.

Объединить довольно разрозненный материал о корреляции колебаний геофизических факторов с обострениями очень разнообразных заболеваний можно при учете влияния этих факторов (в частности, ЭМП) на регуляторные процессы организма. При таком допущении естественные ЭМП должны влиять и на регуляторные процессы здорового организма.

Было показано, что вегетативная нервная система практически здоровых людей и больных атеросклерозом чувствительна к воздействию геомагнитных возмущений. Однако реакции здоровых людей при малых и умеренных магнитных бурях заключались в усилении тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы. В то же время у большинства больных атеросклерозом, гипертонической или ишемической болезнью сердца наблюдалось усиление тонуса парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. Клинические наблюдения показали, что такие вегетативные сдвиги могут в какой-то мере определять характер течения заболевания.

Интересно, что у некоторых здоровых людей (преимущественно у мужчин) также наблюдали преобладание тонуса парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, что может свидетельствовать о большей чувствительности мужского организма к ЭМП.

При анализе управляющих функций организма, т. е. нервной и гуморальной регуляции, у здоровых мужчин в возрасте 17—25 лет, проживающих в условиях Европейского Севера, выяснилась очень тесная связь между изменениями ГМП по К-индексу и колебаниями экскреции

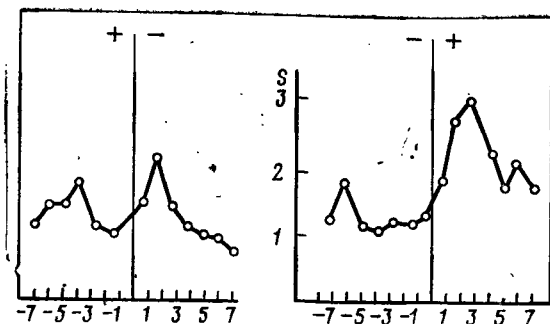


Рис. 7. Коррелиция знака межпланетного магнитного поля с показателями нервной деятельности

Обработка методом наложенных эпох границ секторов межпланетного магнитного поля (абсцисса — сутки после перемены знака поля) и психопатологического состояния в относительных единицах (ордината) у больных [Мансуров и др., 1975]

нейтральных 17-кетостероидов, а также с колебаниями температуры кожного покрова [Холодов, 1975].

Перечисленные примеры показывают биотропность одного из параметров естественных ЭМП, а именно интенсивности. Учет этого параметра уже реализован практически.

В Ялтинском научно-исследовательском институте физических методов лечения и медицинской климатологии имени И. М. Сеченова Министерства здравоохранения СССР создан прибор — анализатор электромагнитных импульсов, возникающих во время гроз и магнитных бурь.

Полученная с помощью этого прибора информация дает возможность врачам заранее предсказывать развитие нежелательных реакций у пациентов в связи с резкими колебаниями ЭМП.

При анализе влияния естественных МП на биологические системы много внимания уделяется вектору МП в качестве основного биотропного параметра. Сюда относятся сообщения о возможной ориентации мигрирующих животных по ГМП [Ossenkopp, Barbeito, 1978; Gerisch, Becker, 1979], об ориентации частей растений в ГМП, об изменении видового состава глубоководной морской фауны при смене полярности геомагнитных полюсов. Как видно из приведенных фактов, в орбиту интересов биологов и медиков постепенно вовлекаются разные компоненты окру-

жающего нашу планету МП, параметры которого в значительной степени определяются деятельностью Солнца. Известны многочисленные сообщения о корреляции солнечной активности с изменениями некоторых биологических процессов, о чем интересно писал известный гелиобиолог А. Л. Чижевский [1973].

Первые публикации о наличии корреляции между переменной знака межпланетного магнитного поля и некоторыми биологическими процессами появились только в 1975 г. и связаны они с именем геофизика С. М. Мансурова (рис. 7).

За последние годы увеличилось число указаний на связь между изменениями межпланетного магнитного поля (МПП) и деятельностью различных биологических систем. Сюда следует отнести сообщения о корреляции указанного астрофизического параметра с нейронсихическими расстройствами, с обострением нейровегетативных заболеваний, с изменением порога слияния частоты световых мельканий у здоровых людей в условиях Антарктиды, с вариациями интенсивности роста различных клеточных структур в отдельных пунктах Сибири (Казначеев и др., 1981].

Следует заметить, что увеличение числа публикаций о корреляции изменений секторной структуры МПП с биологическими процессами еще не решает важного вопроса, связанного с механизмом такой корреляции.

Не исключено прямое влияние перемены знака МПП на функции биообъекта, что показано в экспериментах со слабыми и сверхсильными искусственными МП. Недавно появилось интересное сообщение о том, что биотропность вектора МП сохраняется только до определенной величины индукции МП (около 0,5 мТл), а при увеличении интенсивности этот параметр перестает влиять на биологическую реакцию.

Высказывается предположение, что вариация вектора МП может влиять на изменение структуры и энергии электронного облака гипотетической биомолекулы. Конечно, такой подход требует дополнительных экспериментальных и теоретических исследований.

Более привлекательной считается гипотеза опосредованного влияния смены знака МПП на биосистемы через изменение интенсивности низкочастотных пульсаций ГМП. Но эта гипотеза также нуждается в теоретической поддержке со стороны общей магнитобиологии, поскольку

смена знака МПМП сопровождается ослаблением пульсаций ГМП, а биологическое действие ослабленных МП изучено еще очень слабо. Показано, что к ослабленным МП наиболее чувствительны эмбриональные стадии организма млекопитающих и микроорганизмы, но именно эти объекты еще не стали предметом пристального внимания со стороны исследователей, изучающих биологическое действие межпланетного МП.

Гипотеза опосредованного механизма биологического действия МПМП характеризуется чрезмерной широтой, поскольку включает в себя анализ параллельных изменений геофизических факторов не только электромагнитной природы (хотя и их число еще четко не определено), но и звуковой, радиоактивной и т. п.

Важно заметить, что отмеченные две гипотезы (прямого и опосредованного биологического действия МПМП) не обязательно исключают друг друга. Для оценки вклада разных механизмов в осуществление сложных процессов взаимодействия биосферы с окружающей средой требуются значительные усилия различных специалистов. Однако роль вектора ГМП более четко выявляется при изучении ориентации животных.

Традиционно уже более 100 лет обсуждается проблема геомагнитной ориентации при анализе дальних миграций птиц. Приводятся обычно данные поведенческого плана, полученные в полевых или экспериментальных условиях. За последнее десятилетие появилось большое количество статей в СССР, США и ФРГ, свидетельствующих о многофакторном характере процесса ориентации, о включении геомагнитной ориентации при отсутствии других указателей, об исчезновении ориентации в случае помещения птицы в экранированное пространство. Отмечали нарушение ориентации у голубей и у чаек во время магнитных бурь. Нам неизвестны нейрофизиологические исследования механизма восприятия птицами естественных ЭМП.

Больше в этом отношении повезло рыбам, ориентацию которых в ЭМП изучали не только методами наблюдения поведенческих реакций, но и нейрофизиологическими.

Импульсную электрическую активность нейронов акустико-латеральной области мозга морского ската регистрировали при воздействии МП на рыбу. Характер реакции на изменение МП отчетливо зависел от вектора. Одна группа нейронов реагировала возбуждением на южное направление МП и торможением на северное, а другая

группа нейронов отвечала противоположным образом. Реагировали только те нейроны, которые были связаны с электрорецепторной системой [Броун и др., 1977].

Зависимость направленности нейронального ответа от стороны расположения нейрона связывают с билатеральной симметрией ампул Лоренцини. Этому обстоятельству придают важное биологическое значение, поскольку таким образом создается определенная мозаика процессов возбуждения и торможения, позволяющая отличать МП от других раздражителей. Пороговым изменением МП для нейрональных ответов явилось 0,08 мТл/с, что свидетельствует о возможности восприятия ГМП электрорецепторами электрических рыб.

При изучении ориентации насекомых в ГМП, как и при изучении ориентации птиц, использовали в основном поведенческие методики. Так же обстояло дело и при изучении ориентации в ЭМП моллюсков, червей и одноклеточных.

Подытоживая обширный материал по ориентации животных во времени и пространстве с помощью естественных ЭМП, мы можем заключить, что эти факты можно считать установленными, но нейрофизиологический механизм их реализации установлен только для электрических рыб.

Накапливающиеся материалы имеют прямое отношение к проблеме «биологических часов», а вернее, к зарождающейся хронобиологии и потому должны изучаться в более широком плане.

В любом экспериментальном исследовании влияния искусственного ЭМП на различные биологические системы мы используем его как инструмент, изменяющий состояние биологического материала. Здесь нужно сделать акцент на том, что в таких исследованиях мы узнаем не только о новых свойствах ЭМП (его способность оказывать биологическое действие), но и новые свойства самой биологической системы, на которое это действие направлено. Существует мнение, что эта сторона является наиболее важной. Можно напомнить, что большинство биологических процессов основано на химических реакциях. Химические свойства веществ в конечном итоге объясняются взаимодействием атомных ядер и электронов.

Принципы химии определяются более фундаментальными науками: электродинамикой и квантовой механикой. Соответственно электрические и магнитные поля слу-

жат экспериментальным инструментом для получения информации об основных явлениях. Однако очень трудно создать ЭП атомных размеров, если среда является проводником I и II рода. С другой стороны, МП не подвергается влиянию среды, с которой мы обычно сталкиваемся в химических и биологических системах, и, таким образом, идеально соответствует целям глубокого проникновения в основные биологические процессы.

При общей характеристике исследований по биологическому действию ЭМП следует отметить преобладание эмпирических подходов к решению сложных задач, которые требуют междисциплинарного решения при коллективном участии многих специалистов. Иными словами, проблемы первичных механизмов биологического действия ЭМП должны решаться в первую очередь. Здесь необходимо учитывать, что ЭМП могут влиять не только прямо на биологические структуры, но и на окружающие их компоненты, и прежде всего на водные растворы [Классен, 1978]. Не перечисляя всех возможных первичных механизмов биологического действия ЭМП, нужно подчеркнуть, что, обладая проникающим действием, ЭМП могут служить удобным инструментом исследования фундаментальных свойств биосистем. Важно изучать не только первичные механизмы, но и способы реализации биологического действия ЭМП на разных уровнях организации биосистемы.

Конечную задачу электромагнитной биологии можно определить как изучение возможности управления деятельностью биологических систем разного уровня организации с помощью изменения параметров воздействующего ЭМП. Эта задача является кибернетической по своей сущности и потому требует точного знания параметров управляющего фактора (ЭМП) и параметров управляемой системы (биообъект). Последнее мы узнаем при учете достижений всего комплекса биологических наук, но оценку степени биотропности отдельных параметров ЭМП может дать только электромагнитная биология.

Широкие проблемы физиологического действия ЭМП, намеченные еще в начале этого века В. Я. Данилевским, в наше время могут быть разрешены благодаря успехам радиоэлектроники и вычислительной техники, а также благодаря совершенствованию методов биологического эксперимента.

Таким образом, практическая, как и теоретическая,



актуальность изучения биологического действия ЭМП с каждым днем увеличивается. Предпринято много усилий для создания национальных программ в этой области исследований. За последние десятилетия электромагнитная биология прошла большой путь до признания за ней важной роли в системе биологических наук. Необходимо расширять исследования в этой перспективной области, повышать их методический уровень, чтобы глубже понять биологическое действие одного из важнейших факторов среды. Такое расширение неизбежно приводит к вовлечению новых объектов и методов в изучение биологического действия ЭМП.

Применение в последние годы сверхчувствительных магнитометров позволило обнаружить слабые ферромагнитные включения вначале у бактерий, потом у моллюсков, у пчел и у голубей. Появились сообщения, что такие включения можно обнаружить в головном мозгу дельфина. Поскольку поиски своеобразного «компас» в различных биосистемах непрерывно расширяются, мысль о возможности биологического действия естественных МП становится привычной, а механизм этого действия ясным с физической точки зрения.

То обстоятельство, что некоторые бактерии синтезируют ферромагнитные включения, образуя новое для биологов внутриклеточное образование, «магнитосому», свидетельствует об экологической значимости ГМП.

В конце главы хочется отметить, что естественные ЭМП могут менять поведение различных представителей животного мира. Однако такие факты требовали экспериментальных подтверждений в строго контролируемых условиях. Кроме того, гигиенический и терапевтический подходы к оценке биологического действия ЭМП указывали на заинтересованность нервной и эндокринной систем в осуществлении реакций организма на ЭМП. Все это подчеркивает актуальность изучения поведения экспериментальных животных в различных ЭМП.

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ МЕНЯЮТ ПОВЕДЕНИЕ

Отмечено многочисленными исследователями, что разные ЭМП могут менять двигательную активность (ДА) организма, изменять чувствительность к раздражителям, нарушать формирование условных рефлексов и угнетать память. Все эти выводы были получены в основном в экспериментах на животных, представляющих разные уровни эволюционного развития жизни на Земле.

Обзор сведений о влиянии ЭМП на поведение можно начать с описания результатов по изменению ДА. Метод актографии еще не получил широкого применения в исследованиях по электромагнитной биологии, но во многих публикациях отмечалось изменение этого очень общего параметра деятельности организма. Ограничиваясь анализом литературных данных, связанных с изучением ДА позвоночных животных (хотя и насекомые увеличивали свою активность во время магнитных бурь), мы должны указать, что чаще отмечали увеличение ДА при воздействии усиленных искусственных МП на рыб, на птиц и на млекопитающих, а также изменение ДА у млекопитающих при воздействии полей СВЧ. Чаще всего исследователи отмечали только сам факт изменения двигательной активности под влиянием ЭМП, иногда даже не измеряя инструментально этот параметр и не анализируя возможного физиологического механизма отмеченной реакции.

В наших опытах, проведенных в начале 50-х годов, на 11 колюшках было дано 85 воздействий МП индукцией около 20 мТл. В 64% случаев отмечали увеличение ДА, которое превышало величину контрольных записей на 50—300%. Интенсивность и повторяемость реакций зависели от индивидуальных особенностей рыб [Холодов, 1966].

В то же время в опытах на 10 птицах из семейства воробьиных было дано 48 воздействий МП индукцией 0,07 мТл. В 68% случаев отмечали увеличение ДА, которое превышало величину контрольных записей на 100—430%.

Позже Т. Рыскановым в опытах на 20 крысах было дано 257 воздействий МП разной индукции (2,20 и

200 мТл). Увеличение ДА наблюдали примерно в 70% случаев. Величина эффекта увеличивалась с увеличением индукции.

Хотя мы не ставили перед собой специальной цели сравнить магниточувствительность разных классов позвоночных животных, напрашивается предположение, что птицы наиболее чутко реагируют на МП (рис. 8). Такое предположение требует специальной проверки. Возможно, все классы позвоночных одинаково чувствительны к МП, поскольку имеются сообщения, что рыбы, птицы и млекопитающие реагируют увеличением ДА на изменения МП, близких по величине к колебаниям ГМП. Например, канадский исследователь М. Перзингер отметил увеличение ДА крыс во время магнитной бури 5–6 июля 1974 г.

В специальной серии экспериментов на крысах определяли пороговую индукцию искусственных ПМП при регистрации ДА. Как следует из результатов, пороговая индукция располагается в интервале 2–20 мТл. Увеличение индукции МП на порядок приводило к увеличению двигательной активности примерно в 2 раза, из чего следует заключить, что, хотя регистрируемая реакция зависит от индукции ПМП, эта зависимость не носит линейного характера.

Как и в опытах с рыбами, в данных экспериментах эффект зависел от индивидуальных особенностей животных. Следует учитывать и генетические особенности объектов, о чем свидетельствует сообщение американских исследователей Смита и Джастенсена. Кроме того, как мы уже не раз отмечали, среди биотропных параметров электромагнитных полей следует учитывать не только интенсивность, но также градиент, вектор, частоту, форму импульса и т. п.

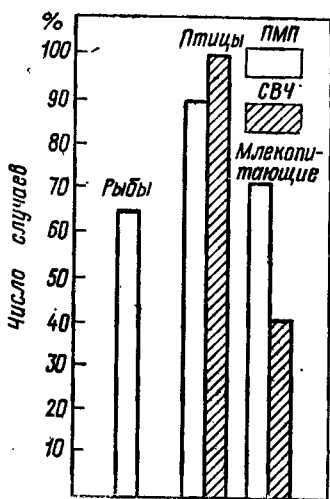


Рис. 8. Изменение двигательной активности под влиянием магнитного поля и поля СВЧ у рыб, птиц и млекопитающих

Ордината — частота реакций (%)

Не следует забывать, что многие реакции организма носят фазный характер. Эта особенность в сложном взаимодействии ЭМП с биологическими системами наиболее ярко выявилась в экспериментах на птицах (волнистые попугайчики) при использовании микроволн с разной плотностью потока мощности (ППМ). Слабые ППМ вызывали увеличение ДА, средние мало влияли на ДА, а сильные — угнетали ее.

Предельная ППМ в экспериментах Ч. Асабаева ( $1000 \text{ мкВт/см}^2$ ) вызывала значительное снижение (на 60%) ДА у всех исследуемых птиц. При таких же воздействиях полей СВЧ на кроликов наблюдали лишь небольшое увеличение ДА у некоторых животных. Следовательно, при использовании полей СВЧ, как и при воздействии МП, подтверждается предположение о большой чувствительности птиц к ЭМП. В литературе имеются сведения об угнетении ДА при очень сильных МП и при ослабленных МП. Л. А. Андрианова и Н. П. Смирнова при действии на мышей ПМП с индукцией 50 мТл отмечали увеличение ДА, а при повышении интенсивности до 100, 200 и 400 мТл — угнетение ДА. Уместно заметить, что в данном случае регистрировали ДА фотоэлектрическим методом, который отмечает только передвижения животного, а в опытах Т. Рысканова механо-электрическим методом отмечали даже дрожание животного, которое могло при этом совсем не перемещаться.

Снижение ДА у взрослых мышей линии СВА в искусственном ослабленном до  $10^{-7}$  Тл магнитном поле измеряла З. Н. Нахильницкая с соавторами (1978 г.). Число движений уменьшалось примерно на 30%.

Американские исследователи Халперн и Ван-Дейк еще раньше (1966 г.) отмечали (но, к сожалению, не измеряли) снижение ДА у мышей линии Свисс-Уебстер, находившихся в течение нескольких поколений в искусственном ослабленном до  $10^{-7}$  Тл магнитном поле [Копанев и др., 1979].

Советский исследователь из Ленинграда А. В. Шакула (1978 г.) подтвердил измерениями, что мыши, родившиеся в ослабленном магнитном поле, уменьшают свою ДА. Получается, что естественное магнитное поле как-то «подталкивает» организм к определенной степени перемещений.

Известный советский физиотерапевт А. Е. Щербак высказывал в 30-х годах нашего столетия мнение о том,

что тонус вегетативной нервной системы может поддерживаться неощущаемыми человеком раздражениями кожной поверхности. В число таких раздражителей он включал и ЭМП, предполагая, что таким образом в реакцию вовлекаются выработанные в процессе эволюции надежные механизмы адаптации организма.

Важно отметить кумуляцию эффектов при повторных воздействиях ЭМП на животных. Хотя еще не известны физиологические механизмы, связанные с изменением ДА животных под влиянием ЭМП, можно заключить, что метод актографии является одним из чувствительных методов регистрации реакций животного на воздействие слабых факторов внешней среды. Можно предполагать, что в этих реакциях принимают участие как нервная, так и мышечная система. Однако более специфические функции НС, связанные с обучением и памятью, полнее выявляются при изучении условнорефлекторной деятельности.

Прежде чем перейти к описанию поведенческих опытов на животных, необходимо заметить, что эффективность творческой деятельности человека, как предполагают некоторые исследователи, тоже модифицируется естественными ЭМП.

В печатных изданиях часто отмечается корреляция между числом дорожно-транспортных происшествий и ГМП. Эта корреляция была впервые обнаружена немецким исследователем Р. Рейтером (Мюнхен) в пятидесятых годах нашего столетия. В 1956 г. К. Вернер (Гамбург) подтвердил эти выводы. Венгерский исследователь И. Эрмени, советский медик В. П. Десятов, индийские геофизики Вхашкара и Шривастава, а также японский работник муниципалитета Масамура сделали сходные выводы при обработке очень разных материалов по дорожно-транспортным происшествиям. В магнито-активные дни число происшествий увеличивалось на 5—25%. Особенно увеличивался детский травматизм, что приводило к выводу о большей чувствительности развивающегося организма к ГМП.

Возможно, такие рассуждения привели упомянутого ранее канадского исследователя М. Перзингера к необходимости тщательно изучать влияние слабых (0,05—3,00 мТл) переменных (0,5 Гц) магнитных полей, создаваемых вращающимися постоянными магнитами, на деятельность НС развивающегося организма крысы. Благо-

даря таким рассуждениям в МП попадали преимущественно беременные крысы. Исследование их уже ставшего взрослым потомства показало, что крысы, побывавшие в МП во время пренатального развития, отличались повышенной ДА и эмоциональностью. Этот эффект в опытах на самцах выявлялся более отчетливо, чем на самках. Отсюда следует, что «сильный пол» более чувствителен к слабым магнитным воздействиям, и это можно было обнаружить не только по поведению, но и по весу таких важных эндокринных желез, как щитовидная железа и семенники. Были также обнаружены слабые гистологические изменения в гипоталамической области головного мозга, но об этих показателях реакции НС на ЭМП мы намерены позже поговорить подробнее.

Сейчас важно отметить, что у животных, побывавших в ЭМП, изменялось поведение. Большинство опытов такого рода проведено на взрослых животных при использовании разных методов исследования. Одним из наиболее продуктивных методов изучения интегративной деятельности организма высших животных и человека является павловский метод условных рефлексов (УР). Этот метод сыграл большую роль в определении характера реакций организма на ЭМП, но еще не исчерпал всех своих возможностей. Мы попытаемся оценить новые результаты, полученные методом условных рефлексов, чтобы детальнее определить характер реакций ЦНС на ЭМП.

Использование ЭМП в качестве условного раздражителя показало лишь возможность ЭМП выполнять эту роль и обнаружило одновременно, что эта роль в естественных условиях не является главной. Если исследователей и ожидал успех при выработке УР на ЭМП, то он возникал чаще в том случае, когда в качестве показателя условно-рефлекторной деятельности использовали не двигательные реакции, а вегетативные.

При изучении влияния ЭМП на формирование УР (чаще двигательных) и при использовании самых различных методических подходов и объектов исследований чаще всего отмечали нарушение исследуемых процессов или (чаще в работах американских исследователей) отсутствие эффекта.

В недавней обзорной статье Б. М. Савина и Н. Б. Рубцовой [1978] повторяется вывод о наибольшей чувствительности ЦНС к разным ЭМП при сравнении с реакциями других систем организма и о важности изучения из-

менений функционального состояния НС при обосновании порогов вредного действия ЭМП.

Установлено, что при систематическом воздействии полей СВЧ на животных изменения условных рефлексов носили сложный волнообразный характер, конкретное выражение которых зависело не только от сочетания биотропных параметров ЭМП, но и от особенностей ЦНС животных. Отсюда следует, что кратковременное наблюдение за поведением животных без учета сложности возникающих реакций и сложности воздействующего фактора не может дать адекватной оценки возникающих изменений в ЦНС.

При использовании многократных (до 3 месяцев) воздействий импульсных ЭМП разной интенсивности на крыс, у которых вырабатывали двигательные УР, харьковские исследователи во главе с Г. И. Евтушено [1978] отмечали, что при 0,5 или 3,0 мТл эффект не возникал, при 30 мТл увеличение латентного периода условных рефлексов наблюдали через месяц после начала воздействия, затем этот показатель вернулся к норме, хотя воздействие продолжалось, но через месяц после окончания воздействия опять появилось увеличение латентного периода УР. Когда же воздействовали более сильным импульсным ЭМП (90 мТл), отмеченный показатель УР увеличивался почти сразу, поддерживался на этом высоком уровне весь период воздействия и оставался повышенным еще несколько месяцев после окончания воздействия.

В работе К. В. Судакова [1976] отмечается, что при увеличении длительности воздействия от 5 мин до 2 ч на крыс модулированным (50 Гц) полем УВЧ с частотой 39 МГц и напряженностью 30—120 В/м наблюдали увеличение числа межсигнальных реакций, нарушение прежде всего оборонительных, а затем и пищевых условных рефлексов. Впоследствии возникало усиление двигательной активности и ослабление реакции на болевой раздражитель.

В работе Т. Рысканова [1980] впервые показана зависимость формирования УР от интенсивности применяемых ПМП. Вырабатывали УР активного избегания у белых мышей в Т-образном лабиринте.

Ставили целью изучить влияние ПМП индукцией 0,2; 2; 20 и 200 мТл на УР избегания у мышей. Проводили эксперименты на 170 мышах в условиях высокогорья и на 152 мышах в условиях низкогорья.

В первой серии опытов по выработке УР в условиях низкого поля использовали ПМП 200 мТл. Опытные животные для достижения критерия обучения чаще подвергались воздействию электрического раздражения по сравнению с контрольными мышами. Одну мышь начиная с 7-го дня опыта никак не могли в течение 3 дней заставить перебегать в безопасный рукав лабиринта, хотя давали до 10—15 электрических раздражений за сеанс.

Все животные опытной партии во 2—4-й дни эксперимента дали значительное увеличение числа неправильных пробежек. В 3-й день воздействия ПМП УР избегания был подавлен и приближался к показателям первого дня. Видимо, интенсивное затормаживание УР при действии ПМП данной интенсивности происходит в первые 3—4 дня, и эффект сохраняется на протяжении 10 дней опыта.

Во второй серии экспериментов перед каждым опытом экспериментальную партию мышей подвергали двухчасовому воздействию ПМП индукцией 20 мТл, что в меньшей степени сказалось на формировании УР в сравнении с результатами предыдущей серии исследований.

Через 10 дней после прекращения опытов проверяли сохранение УР, что характеризует процесс запоминания. При проверке УР на сохранение оказалось, что у контрольных животных среднее число проб для достижения критерия обучения составило  $1,5 \pm 0,2$ , у опытных с использованием поля 200 мТл —  $4,8 \pm 0,4$ ; 20 мТл —  $1,8 \pm 0,2$ , а 2 мТл —  $1,4 \pm 0,5$ . Видно, что ПМП большей интенсивности сильнее нарушает функции ЦНС.

Для изучения влияния ПМП на прочно выработанный УР на 11-й день опытов одну партию животных ежедневно перед опытом подвергали воздействию ПМП индукцией 200 мТл и продолжали упреждение УР. Другая партия оставалась контрольной.

В первый день экспериментов с воздействием ПМП у опытной партии появилось уже заметное увеличение числа проб. Замедление УР продолжалось в течение 4—5 дней, что можно было объяснить тормозной реакцией организма на данный физический фактор. Через 4—5 дней наблюдалось заметное упрощение УР, что, вероятно, связано с адаптацией организма к ПМП данной интенсивности (но все время УР оставался замедленным по сравнению с контролем).

В опытах с использованием ПМП 20 мТл наблюдали, что в течение 6 дней не было отличий от контроля. На-



чина с 6-го дня опытная партия этой серии замедляла укрепление УР. Видимо, ПМП данной интенсивности оказывает влияние в результате аккумуляции только через 5—6 дней. ПМП индукцией 0,2 мТл не оказывало влияния на выработку и укрепление УР.

В опытах, проведенных в условиях высокогорья, обнаружили, что ПМП 20 и 200 мТл оказывает нормализующее влияние на выработку и формирование УР, нарушенных факторами высокогорья.

Поскольку лабиринтная методика при изучении УР применяется в СССР сравнительно редко, уместно заметить, что в Т-образном лабиринте при использовании реакции выбора у крыс отмечали увеличение числа ошибок после однократного воздействия модулированным полем УВЧ. Через несколько дней это нарушение акцептора результата действия полностью исчезало.

Известно, что при формировании УР большую роль играют эмоциональные реакции, но они в электромагнитной нейрофизиологии почти не изучались, не считая сообщений М. Перзингера [Persinger, 1947]. Работа К. В. Судакова [1976] свидетельствует, что десятиминутное воздействие модулированным полем УВЧ изменяло частоту реакций самораздражения у крыс, причем характер изменений зависел от частоты модуляции. Частота реакции самораздражения увеличивалась почти вдвое в первые 2 мин воздействия модулированного (2 Гц) поля УВЧ, а затем резко снижалась и через 4 мин реакция самораздражения исчезала совсем. Такого же конечного эффекта можно было добиться при воздействии модулированного (7 Гц) поля УВЧ, но только примерно через 10 мин после начала воздействия и без начального подъема числа реакций самораздражения. Модулированное (50 Гц) поле УВЧ практически сразу блокировало у всех животных реакцию самораздражения. Таким образом, была продемонстрирована возможность направленного влияния ЭМП на эмоциональные реакции животных.

Тщательного нейрофизиологического анализа требуют факты более выраженного изменения под влиянием ЭМП процесса формирования УР в сравнении с процессом осуществления уже прочно выработанных временных связей. Гипотеза о миелинизации синаптических окончаний при формировании УР может быть использована при этом анализе. Такая гипотеза согласуется с многочисленными фактами, свидетельствующими о значительной реакции

нейроглии при действии ЭМП. Нельзя забывать и об участии кровеносных сосудов мозга, достаточно чувствительных к ЭМП, в сложном процессе формирования временных связей в интактном мозге.

Правда, исключить этот фактор (кровеносные сосуды) в экспериментальных условиях уже можно, поскольку возможна выработка аналога УР в культуре ткани мозга или на переживающих препаратах ЦНС, но нам неизвестно, чтобы кто-то это сделал.

Куда труднее разделить вклад нервных и нейроглиальных клеток в тот сложный процесс, который мы называем обучением. На этом пути необходимы новые методические и методологические усилия, чтобы решить одну из сложнейших проблем мозговой деятельности. Хочется надеяться, что применение ЭМП в нейробиологии поможет решить эти и другие сложные задачи, связанные не только с формированием условных рефлексов, но и с процессами памяти.

При обследовании людей, работающих в условиях усиленных ЭМП, часто отмечали у них ослабление процессов памяти. Напомним, что французские психиатры прошлого века, вероятно, первыми отметили изменение памяти у людей при экспериментальном воздействии искусственных МП. В наши дни мы встречаем лишь единичные сообщения об экспериментальном исследовании памяти у людей при действии ЭМП.

В исследованиях Ч. Асабаева было отмечено, что у мышей при воздействии поля СВЧ одних и тех же параметров наиболее ранимым процессом (если сравнивались формирование УР, осуществление прочновыработанного УР и сохранение УР) явилось запоминание, которое характеризовалось количественно при изучении степени сохранения условного рефлекса (см. табл.).

Подобные результаты по той же методике были получены Т. Рыскановым при использовании ПМП разных индукций. Показано, что однократное воздействие на мышей МП 40 мТл или только перед обучением, или только перед проверкой сохранения УР (речь идет о методике однократной выработки пассивного электрооборонительного рефлекса избегания) не влияло на образование или сохранение УР. Нарушение сохранения УР было наибольшим, когда МП влияли сразу после обучения. Иными словами, МП каким-то образом нарушало формирование памятного следа.

Таблица 1

Характер влияния импульсных и непрерывных полей СВЧ разной плотности потока мощности на образование, осуществление и сохранение условных рефлексов у мышей [Асабаев, 1971]

| Режим получения поля СВЧ | ППМ, мкВт/см <sup>2</sup> | Сохранение УР | Формирование УР | Воспроизведение УР |
|--------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|--------------------|
| Непрерывный              | 1000                      | +             | +               | —                  |
|                          | 250                       | +             | —               | —                  |
|                          | 10                        | —             | —               | —                  |
| Импульсный               | 1000                      | +             | +               | +                  |
|                          | 250                       | +             | +               | —                  |
|                          | 10                        | +             | —               | —                  |

Изучение переноса памяти у регенерирующих планарий обнаружило, что даже обработка МП гомогената из обученных планарий перед введением его необученным животным приводила к исчезновению переноса.

Таким образом, фрагментарные исследования изменений процессов памяти под влиянием ЭМП уже показывают перспективность этого направления. Необходимо предпринять дальнейшие усилия для выяснения существенной стороны деятельности мозга, связанной с памятью и с другими сторонами деятельности головного мозга. Эта цель может быть достигнута на пути разнообразия методов исследования мозга, среди которых на первое место в нейрофизиологии выдвигаются электрофизиологические методы.

## Глава 7

### НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА МОЗГ

Мозг как наиболее совершенная система управления и как орган тонкого приспособления организма к условиям окружающей среды привлекает пристальное внимание естествоиспытателей различных специальностей. Психологи изучают образование индивидуальных и видовых приспособительных поведенческих реакций; нейрофизиологи, регистрируя электрическую активность отдельных

нейронов, хотят понять особенности формирования нейронных цепей; биохимики стремятся объяснить механизмы обучения и памяти на молекулярном уровне.

Любому исследователю, изучающему деятельность мозга, необходимо знание способов воздействия на центральную нервную систему, чтобы уметь объективно оценивать и нормальную деятельность мозга, и ее изменения под влиянием определенных внешних воздействий. Следует признать, что это необходимое предварительное условие в реальных исследованиях не может быть выполнено, так как нам еще неизвестны все параметры среды, определяющие деятельность мозга, условно принимаемой за «нормальную».

Более полно способы воздействия и регистрации функций головного мозга в естественных и искусственных условиях указаны в табл. 2.

До сих пор мы рассматривали результаты изучения деятельности мозга целостного организма при воздействии ЭМП-методами, отмеченными в верхних строчках таблицы. Нужно заметить, что среди воздействующих факторов почетное место занимает прямое электрическое раздражение мозга, но эта процедура связана с частичным разрушением мозга.

Большие надежды возлагают на способы воздействия, связанные с проникающими ЭМП разных параметров. В начале нашего века известный русский физиолог В. Я. Данилевский называл этот способ «действие электричества на расстоянии». В настоящее время электромагнитный способ воздействия на мозг менее разработан, чем контактный электрический способ. Однако дистантный путь воздействия сулит большие перспективы в будущем. Надежды на плодотворность этого пути исследования поддерживают недавние убедительные данные по регистрации электрических и магнитных полей вокруг живого мозга, о чем подробнее мы поговорим позднее. Пока зарегистрировать такие поля удалось на расстоянии нескольких сантиметров от мозга, но эти факты свидетельствуют о том, что «полевое» воздействие имитирует в какой-то степени естественные нервные процессы, а следовательно, такой путь исследований перспективен.

Следует заметить, что прямое изучение деятельности мозга при использовании биохимических и биофизических методов началось сравнительно недавно (примерно с середины XX в). Эти возможности появились и появляются

Таблица 2

Способы воздействия на мозг и методы регистрации его функций в интактном организме и в искусственных условиях

| Объект                                              | Воздействие                                                                                                                                  |                                                                                           | Реакции                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                     | через органы чувств                                                                                                                          | прямо на мозг                                                                             |                                                                                                                                                |
| Интактный мозг                                      | Социальные воздействия (речь), естественные раздражители (свет, звук, запах, вкус, осязание и т. д.), химические факторы, физические факторы | Химические факторы, физические факторы (электричество, ЭМП, вибрация, ультразвук и т. д.) | Субъективный отчет. Двигательные реакции. Секреторные реакции. Сосудистые реакции. Электрическая активность мозга. Биохимические реакции мозга |
| Изолированный мозг                                  | Естественные раздражители, химические факторы, физические факторы                                                                            | Химические факторы, физические факторы                                                    | Электрическая активность мозга. Биохимические реакции мозга                                                                                    |
| Переживающая нервная ткань и культура нервной ткани | —                                                                                                                                            | Химические факторы, физические факторы                                                    | Электрическая активность мозга. Биохимические реакции мозга                                                                                    |
| Мертвый мозг                                        | —                                                                                                                                            | —                                                                                         | Морфологические, гистологические, цитологические и молекулярные изменения                                                                      |

в связи с общим научно-техническим прогрессом, затрагивающим в большей мере смежные области знания. К примеру, сегодняшние достижения в учении о мозге нельзя вообразить без учета возможностей радиоэлектроники, позволившей зарегистрировать и обработать различные биоэлектрические процессы мозга.

Любой здоровый человек может оценивать работу своего мозга по ощущениям. Он давно выделил пять основных органов чувств, эти своеобразные окна в мир, и, основываясь на здравом смысле, вполне резонно, на его взгляд, полагает, что разговоры о дополнительных источниках информации не нужны.

Особенность сегодняшнего этапа научного познания заключается в углубленном изучении всех природных явлений. Факты, лежащие на поверхности, уже получили свое объяснение. Как физика перешла к объяснению мира на невидимый невооруженному глазу атомный уровень, так и нейрофизиология начинает оперировать явлениями, недоступными прямым человеческим ощущениям.

Хотя мозг в настоящее время интенсивно изучается на разных уровнях его деятельности, наиболее перспективными считаются новые аналитические методы, крайним выражением которых является изучение изолированной культуры нервной ткани.

Детальное познание всех свойств живого мозга человека и животных является очень сложной задачей. Переплетения миллиардов нервных клеток, каждая из которых связана с тысячами других, только приблизительно характеризуют сложность проблемы. Сюда необходимо добавить десятки миллиардов клеток глиальных, ибо по современным воззрениям мозг без глии не может функционировать. Физиолог укажет также на необходимость учета функций кровеносных сосудов при анализе мозговой деятельности, на существенную роль спинно-мозговой жидкости (ликвор обновляется 5—6 раз за сутки!) и на массу других подробностей, усложняющих и без того сложную работу мозга.

Недавним приобретением науки считается взгляд, согласно которому структурно-функциональной единицей нервной деятельности следует считать не отдельный нейрон, а сосудо-глио-нейрональный комплекс.

История применения электрофизиологических методов в электромагнитной нейрологии еще коротка. Относительно изменения электрической активности спинного мозга под влиянием МП известно, что при частотах внешнего ПемП, близких параметрам электрической активности спинного мозга спинальной лягушки, отмечалось увеличение амплитуды, а при других частотах ПемП изменяло форму регистрируемых биопотенциалов.

При исследованиях электрической активности головного мозга человека отмечали ее изменения после воздействия МП, поля УВЧ и поля СВЧ. Влияние слабых ЭМП отмечали в эпизодических исследованиях коллективов физической ориентации. В одном исследовании белорусских физиков [Михайлова-Лукашева и др., 1972] на головы 7 испытуемым в возрасте 20—30 лет воздейство-

вали 10—25 с слабыми перепадами ЭМП ( $10^{-14}$  Дж) частотой следования 2,8—10, 400 Гц когерентного излучения в полосе до 6 МГц. Регистрировали биоэлектрическую активность теменной области при биполярном отведении. Сравнивали средние значения интегральной плотности ЭЭГ до и после воздействия.

На ЭМП 400 Гц изменения ЭЭГ отмечали у 6 испытуемых, а на ЭМП 2—10 Гц — только у 4 из 7. Хотя детальных сведений о результатах экспериментов авторы не приводят, можно предполагать, что низкочастотные ЭМП (2—10 Гц) вызывали преобладание колебаний биопотенциалов в диапазоне дельта- и тета-ритмов, а ЭМП 400 Гц — преобладанию высокочастотных колебаний в бета-диапазоне.

В сообщении украинских физиков отмечалось, что некоторые люди (3 из 10) могут воспринимать искусственные низкочастотные (0,01—2,00 Гц) МП с индукцией  $2 \cdot 10^{-7}$ — $2 \cdot 10^{-6}$  Тл, судя по изменению выраженности медленных волн в их ЭЭГ. В загородных условиях, где высшие магнитные помехи были на 2 порядка ниже, чем в городе, отмечали большую чувствительность к МП. Изменения в ЭЭГ наступали не раньше чем через 1 мин после начала воздействия.

Более подробно изучали ЭЭГ-изменения у человека под действием ЭМП врачи-гигиенисты, отмечая чаще всего преобладание медленных волн в ЭЭГ людей, подвергающихся электромагнитному воздействию в условиях производства.

Наблюдаемые изменения являлись результатом длительных (иногда многолетних) воздействий ЭМП, параметры которых значительно варьировали. Отсюда выводы при исследовании ЭЭГ человека обычно заключались в констатации изменений, а более подробный физиологический анализ возникающей ЭЭГ-реакции можно было получить только в опытах на животных.

В качестве объекта исследований использовались обезьяны, собаки, кошки, кролики, крысы, голуби, саламандры, лягушки и беспозвоночные животные. Эксперименты на животных давали возможность вживлять электроды в различные отделы головного мозга и тем самым исследовать межцентральные отношения, изолировать и разрушать отдельные участки ЦНС, а также позволяли изучать реакцию «под лучом». Правда, на этом пути возникали методические осложнения, связанные с

тем, что металлические электроды, концентрируя вокруг себя высокочастотные ЭМП, вызывали нагревание мозговой ткани. Для избавления от таких артефактов исследователи переходили к созданию съемных металлических электродов, к использованию угольных или стеклянных электродов, а также к применению низкочастотных ЭМП и постоянных полей, когда нагревание исключается. Электрофизиологический анализ влияния ЭМП на головной мозг чаще проводили советские исследователи.

В наших исследованиях, где изучались ЭЭГ-реакции на ЭМП, основные опыты проведены на неанестезированных кроликах. Хотя не исключена возможность, что другие животные могли быть более чувствительны к ЭМП, нельзя считать выбор объекта совершенно случайным: у животных с высокой степенью синхронизации мозговых потенциалов такие относительно слабые раздражители, как ЭМП, могли не повлиять на ЭЭГ. Важно подчеркнуть, что животные не подвергались никаким фармакологическим воздействиям и потому речь может идти о нормальных реакциях организма.

Длительность воздействия ЭМП чаще всего ограничивалась 1 или 3 мин с интервалом 10—20 мин. В отдельных экспериментах длительность воздействия варьировала от нескольких секунд до нескольких часов. Длительность эксперимента с каждым животным в зависимости от цели исследования менялась от нескольких часов до нескольких месяцев.

В 1960 г. были начаты электрофизиологические исследования влияния на мозг кролика полей УВЧ и СВЧ. При использовании съемных электродов отмечалось возникновение неспецифической (одинаковой при разных ЭМП) диффузной (возникающей сразу во всех участках мозга) ЭЭГ-реакции синхронизации, заключающейся в увеличении числа медленных волн и веретен в ЭЭГ. Наиболее интенсивная реакция на поле СВЧ с ППМ, около  $40 \text{ мВт/см}^2$ , наблюдалась в коре больших полушарий, гипоталамусе и в неспецифических ядрах таламуса.

В подобных условиях опытов другие исследователи [Лапин, 1970] обнаружили следующую последовательность в интенсивности ЭЭГ-реакции на поле СВЧ, если перечислять в убывающем порядке: гипоталамус, кора, таламус, гиппокамп, ретикулярная формация.

Недавно появились сообщения о том, что модулированное (50 Гц) ЭПМ с частотой 39 МГц и напряженно-



стью 30—400 В/м вызывает появление изолированной судорожной электрической активности в гиппокампе крыс после воздействия длительною от нескольких секунд до 2 ч.

Эти интересные электрофизиологические данные, которые согласуются и с результатами, полученными условнорефлекторной методикой, показывают, что при воздействии ЭМП на ЦНС возникает реакция, характеризующаяся сложными межцентральными отношениями. Их изучение только начинается. Для проведения сравнительного анализа результатов, полученных разными авторами, важно, чтобы эксперименты проводились на животных одного вида и анализ осуществлялся по одному параметру (у крыс лимбическая система более реактивна к ЭМП, чем у кроликов).

Изучение реакции мозга на каждый новый раздражитель освещает какую-то неизвестную прежде грань в многогранной деятельности ЦНС, помогая тем самым глубже познавать особенности функционирования этой важнейшей системы организма. Здесь уместно описать подробнее реакции на ПМП, которые не вызывают нагревания, относительно легко создаются и часто встречаются в природных условиях.

В 60-х годах (публикации появились с 1963 г.) мы исследовали влияние ПМП, создаваемого электромагнитом, который питался постоянным током от аккумуляторов. Индукцию ПМП варьировали от 20 до 100 мТл. Длительность воздействия измерялась 1—20 мин. Направление силовых линий было горизонтальным. Регистрируя электрическую активность мозга, мы располагали голову кролика между полюсами электромагнита.

Во многих экспериментах одновременно с записью ЭЭГ регистрировали электрокардиограмму (ЭКГ) и частоту дыхания кроликов. Однако не удалось отметить изменений со стороны дыхания или сердечной деятельности при кратком воздействии ПМП. Можно полагать на этом основании, что запись ЭЭГ является достаточно чувствительным методом регистрации реакций на ПМП.

Если между полюсами электромагнита помещали туловище или таз кролика, то изменений в ЭЭГ при 1—3-минутном воздействии не наблюдали, что заставило предполагать непосредственное действие ПМП на ЦНС.

Многочисленные литературные данные доказывают существование и рефлекторного пути воздействия ПМП

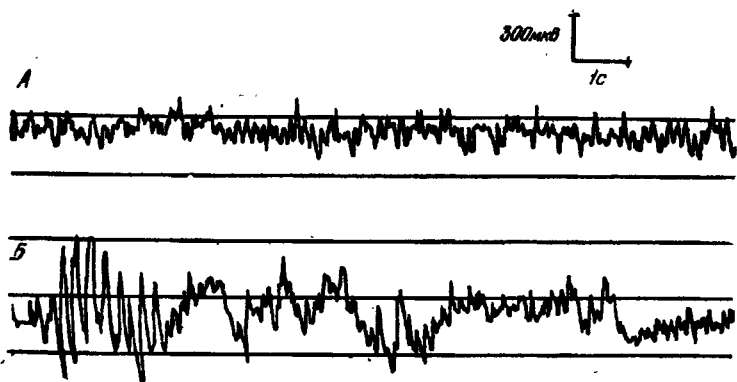


рис. 9. Изменение ЭЭГ крысы под влиянием ПМП 100 мТ

А — фоп; Б — во время действия ПМП

на ЦНС, но нас интересовало именно непосредственное влияние, так как в большинстве работ оно только отмечалось, но не анализировалось.

В опытах с ПМП 147 кроликам было дано более 5000 воздействий. При использовании ПМП возможное биологическое действие ЭДС индукции в момент включения и выключения электромагнита проверялось в опытах с постепенным включением ПМП (через реостат). Оказалось, что ЭЭГ-реакция на ПМП не зависит от скорости создания ПМП, а определяется интенсивностью ПМП и длительностью его воздействия. При длительности воздействия менее 20 с мы не обнаружили ЭЭГ-реакции на ПМП.

В отличие от привычной для электрофизиолога генерализованной реакции десинхронизации, возникающей с латентным периодом в доли секунды на применение обычных раздражителей (свет, звук, и т. д.) средней интенсивности, основная ЭЭГ-реакция на ПМП выражалась в достоверном увеличении числа веретен и медленных волн (рис. 9). Такая генерализованная неспецифическая реакция синхронизации выявлялась не при каждом применении ПМП (примерно в 60% случаев), а ее средний латентный период располагался в диапазоне 20—40 с.

Возникшая ЭЭГ-реакция длилась некоторое время и после выключения электромагнита. Часто последствие выражалось в дополнительном увеличении числа веретен

и медленных волн, которое характеризуется нами как реакция на выключение. Эта реакция могла появляться независимо от основной реакции и обладала меньшим латентным периодом (в среднем около 15 с).

Автоматический частотный анализ ЭЭГ подтвердил результаты визуальной обработки, показав, что во время воздействия ПМП происходит обогащение ЭЭГ на медленных частотах и на тех, которые составляют веретена. Подобные результаты дал автоматический анализ ЭЭГ, записанный на протяжении 1 мин после выключения ПМП, подтверждая наличие эффекта последействия.

При регистрации электрической активности различных отделов головного мозга кролика было обнаружено, что реакции в виде увеличения числа медленных волн и веретен возникают одновременно во всех отведениях (при скорости записи 15 мм/с), а наиболее интенсивную реакцию наблюдали в гипоталамусе, затем следовала кора сензомоторная, зрительная, специфические ядра таламуса, неспецифические ядра таламуса, гиппокамп и ретикулярная формация среднего мозга. Можно заключить, что наиболее реактивными образованиями ЦНС при воздействии ПМП являются кора и гипоталамус.

Результаты данной серии экспериментов привели нас к предположению о том, что ПМП может влиять на любой участок головного мозга, но интенсивность реакции определяется его реактивностью. В нескольких опытах искусственно повышали реактивность, к примеру, ретикулярной формации среднего мозга путем внутривенного введения адреналина, и реакция этого участка мозга на ПМП становилась более интенсивной, чем реакции других отделов.

При физиологическом анализе обнаруженной реакции мы пытались выяснить, все ли участки тела кролика чувствительны к различным ПМП. Для этой цели воздействию попеременно подвергались задние ноги кролика, живот, грудь или голова. Повятно, что в этих экспериментах локализация ПМП была относительной, так как уменьшенное поле выходило за пределы интересующей нас области, а длительность невелика (1—3 мин). Но результаты опытов были достаточно определены: изменения ЭЭГ мы наблюдали только в случае воздействия ПМП на голову.

В дальнейшем выяснялась роль в восприятии ПМП известных дистантных рецепторов, расположенных в го-

ловной части животного: зрительного, слухового и обонятельного. Хирургическим путем производилась та или иная деафферентация. Оказалось, что ЭЭГ-реакция сохранялась после разрушения дистантных рецепторов. Таким образом, целостность дистантных рецепторов не является необходимым условием воздействия ПМП на ЦНС.

Одностороннее разрушение ретикулярной формации среднего мозга, заднего вентролатерального ядра таламуса или заднего гипоталамуса не препятствовало возникновению ЭЭГ-реакций на ПМП и не вызывало асимметрии этих реакций. Можно предполагать, что одностороннее прерывание путей температурной, болевой, тактильной и проприоцептивной чувствительности не влияло на ЭЭГ-реакции при действии ПМП. Если вспомнить, что разрушение дистантных рецепторов также не влияло на осуществление этих реакций, то еще раз напрашивается заключение, что ПМП обладает преимущественно непосредственным действием на ЦНС. Проверку этого предположения мы решили провести на изолированных участках головного мозга.

Оказалось, что препарат изолированного мозга, получаемый после перерезки на уровне среднего мозга, реагирует на ПМП более часто, с меньшим латентным периодом и более интенсивно (иногда в ответ на воздействие возникали судорожные разряды), чем интактный мозг. ЭЭГ-реакция заключалась в увеличении числа медленных волн, веретен и судорожных разрядов.

Таким образом, опыты с препаратом изолированного мозга показали, что денервированные структуры промежуточного и конечного мозга могут реагировать на ПМП. Однако оставалось неясным, реагирует ли на ПМП целостная структура переднего мозга или любой участок мозговой ткани. Для ответа на этот вопрос были проведены опыты на нейронально изолированной полоске коры больших полушарий мозга кролика.

Полоску коры размером  $5 \times 15 \times 5$  мм мы изолировали в сенсомоторной или зрительной области. Регистрацию электрокардиограмм (ЭКГ) производили биполярным способом с помощью фитильковых электродов. В большинстве случаев регистрировали спонтанную электрическую активность полоски в виде нерегулярных или регулярных высоковольтных медленных потенциалов, а также в виде судорожных разрядов.

ЭКоГ-реакция на ПМП чаще выражалась в активации электрической активности. Эта реакция характеризовалась малым латентным периодом в сравнении с интактным мозгом и препаратом изолированного мозга, хотя по степени прочности ЭКоГ-реакция полоски на ПМП была близка к ЭЭГ-реакции интактного мозга. Реакция полоски коры на ПМП не зависела от места изоляции.

Настоящая серия экспериментов показала, что нейронально изолированная полоска коры реагирует на ПМП с меньшим латентным периодом, чем кора интактная, а следовательно, в условиях целостного мозга ЭЭГ-реакция на ПМП формируется при участии как коры, так и подкорковых отделов. Этот вывод подтверждается как формой ЭЭГ-реакции на ПМП целостного мозга, так и величиной ее латентного периода.

Электрическая реакция на ПМП может возникать в небольшом участке мозговой ткани, снабжаемом кровью через паутинную оболочку мозга. Возможная роль гуморального фактора в появлении изучаемых реакций исключалась в опытах по изучению электрической активности переживающей изолированной нервной системы беспозвоночных. Речь пойдет об электрической реакции на ПМП изолированного брюшного участка нервной цепочки речного рака.

Исследуемый препарат состоял из 6 ганглиев и соединяющих их коннектив брюшной нервной цепочки речного рака. Препарат помещали во влажную камеру с физиологическим раствором и с помощью серебряных электродов регистрировали спайковые разряды нейронов. Частота разрядов широко варьировала в зависимости от особенностей препарата, срока переживания, времени года и т. д.

50 препаратам было дано 103 3-минутных воздействия ПМП индукцией около 200,0 мТл. Наблюдали обратимое уменьшение частоты спайков. Латентный период реакции превышал 3 с. В остальных случаях изменения электрической активности цепочки были незначительными. Необходимо заметить, что характер эффекта ПМП зависел от фоновой частоты разрядов нейронов, торможение возникало при высокой исходной частоте. В контрольных опытах не удавалось зарегистрировать торможения электрической активности, которое возникало при действии ПМП.

Таким образом, опыты на полностью изолированной

нервной цепочке речного рака показали, что нервная ткань, лишенная гуморальной связи с остальным организмом, может реагировать на ПМП. Реакция чаще выражалась в торможении спонтанной электрической активности нейронов. Подобные результаты получили американские исследователи, влияя ПМП на изолированный подглоточный ганглий тараканов.

Воздействуя непосредственно на основное звено регуляторных процессов, мы сможем управлять деятельностью всего организма. Важность непосредственного действия раздражителя на ЦНС неоспорима; речь может идти о распространенности этого явления, о его нормальном или патологическом характере. Говоря о распространенности, мы должны иметь в виду как организмы с различным уровнем биологической организации, так и факторы различной физической природы. Известно, что одноклеточные воспринимают любой раздражитель непосредственно своей одной клеткой. Только после значительного периода развития многоклеточные организмы приобретают органы чувств.

Следовательно, интересующая нас форма взаимодействия организма со средой является старым и единственным способом взаимодействия на низших этапах эволюционного развития. В какой-то мере каждая живая клетка сложного организма, несмотря на высокую степень специализации, сохранила способность непосредственно реагировать на отдельные факторы среды. И, конечно, в ряду клеток различных систем нервная клетка в этом отношении занимает одно из первых мест.

Проведенные эксперименты показывают, что исследуемые ПМП вызывают сложные неспецифические реакции, которые выявляются на уровне организма, ЦНС и нервных клеточных образований. В отличие от раздражителей, для восприятия которых имеются специализированные рецепторы, ПМП, обладая проникающим действием, может одновременно влиять на различные ткани организма. Однако из-за разной чувствительности тканей и органов, а также из-за включения репаративных процессов общая реакция организма меняется на разных этапах воздействия ПМП. Но на всех этапах реакции в ней принимает участие ЦНС. Нас интересовала начальная непосредственная реакция ЦНС на ПМП, так как влияние на этот центральный регуляторный орган является основным звеном в цепи ответов организма.

Другие авторы изучали длительное воздействие ЭМП. Так, киевские гигиенисты исследовали ЭЭГ сенсомоторной и зрительной областей коры больших полушарий кроликов при воздействии поля УВЧ. Животные были разделены на 7 равных групп, одна из которых была контрольной, а 6 других подвергали 60-дневному воздействию (10—12 ч ежедневно) поля УВЧ напряженностью 0,05; 0,2; 0,5; 1,0; 3,0 и 6,0 В/м. Обнаружили, что действенными оказались поля УВЧ трех наибольших напряженностей. Начиная со второго дня и достигая вершины через 14 дней после начала воздействия, в ЭЭГ трех указанных групп кроликов увеличивался в 2—3 раза индекс альфа-ритма. Через 45 и 60 дней воздействия наблюдали увеличение индекса дельта-ритма. Характер ЭЭГ-реакции при длительном хроническом воздействии поля УВЧ и наличие пороговой напряженности поля УВЧ (между 0,5 и 1,0 В/м) показывают сходство в реакциях мозга на различные ЭМП.

Было отмечено, что, кроме основной реакции, возникала реакция на выключение (РНВ). Впервые о РНВ после выключения ПМП мы заговорили, когда изучали ЭЭГ-реакцию кроликов при воздействии ПМП на голову животного. В опытах длительность воздействия равнялась 60 с, а интенсивность достигала 45,0 мТл. Кроликам было дано 1113 воздействий ПМП и было зарегистрировано 360 РНВ, прочность которых составила 32,3%. Распределение латентных периодов РНВ по ЭЭГ показателям кроликов приведено на рис. 10, где за 100% взято общее число РНВ.

На том же рисунке показано распределение латентных периодов РНВ по сенсорному показателю для 5 испытуемых, которым давали 139 воздействий на руку ПМП интенсивностью 20,0 мТл с экспозицией 60 с. Хотя воздействие на человека было по индукции примерно в 2 раза ниже, чем воздействие на кролика, это обстоятельство нельзя считать существенным, так как, согласно нашим прежним данным, ПМП интенсивностью от 10 до 90 мТл вызывает сходные сенсорные реакции у человека.

Несмотря на разницу в интенсивности ПМП и в способе воздействия (прямое — на мозг и рефлекторное — на руку), в регистрируемых реакциях (сенсорная реакция и ЭЭГ-реакция) и в объектах исследования (человек и кролик) представленные кривые распределения поразительно похожи друг на друга. Кроме того, совпадение ка-

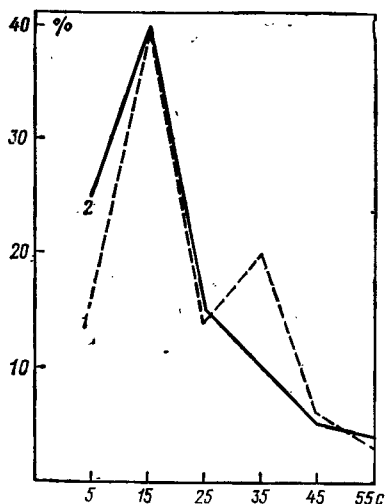


Рис. 10. Распределение величины латентных периодов ЭЭГ-реакций на выключение электромагнита у кроликов (1) и сенсорных реакций человека (2)

сается и частоты возникновения реакции на выключение (у кроликов она зарегистрирована в 32,3% случаев, а у людей — в 31,6%).

Можно предполагать, что организм позвоночных обладает общей медленной системой реагирования, которая может подключаться как при центральном, так и при периферическом воздействии.

Советский исследователь Н. А. Аладжалова, перечисляя свойства этой системы, указывает, что она может не реагировать на кратковременные стимулы, функционирует длительное время после прекращения воздействия и может менять уровень дея-

тельности быстродействующей системы. Опыты показали, что реакции на ЭМП отличаются большим латентным периодом, длительным последствием и корригирующим влиянием. Иными словами, свойства реакции ЦНС на ЭМП совпадают со свойствами медленной системы реагирования. Неожиданным оказалось то обстоятельство, что электрические реакции на ЭМП нейронально изолированных структур мозга происходили чаще, скорее и интенсивнее в сравнении с интактным мозгом. Это можно объяснить снятием тормозящего действия со стороны рецепторов и нижележащих отделов ЦНС, а также неспецифическим повышением чувствительности нейронально изолированных мозговых структур.

Только ли в целостном мозге возникает реакция на выключение после прекращения воздействия различных ЭМП? При ответе на этот вопрос следует учитывать, что для получения яркой реакции на выключение необходима определенная интенсивность и длительность ЭМП.

В лаборатории украинского физиолога П. Г. Богача изолированный ганглий моллюска *Planorbis* помещали



на 6 ч между полюсами электромагнита, создавая в разных сериях опытов ПМП 18,0, 60,0; 120,0 или 180,0 мТл. Отмечали снижение мембранного потенциала во всех случаях. Если на протяжении первых 4 ч процесс деполяризации при индукции ПМП 18,0 и 60,0 мТл проходил медленнее, то через 6 ч наблюдали одинаковое снижение мембранного потенциала во всех опытных сериях (в среднем на 40—47%) в сравнении с контролем. После прекращения воздействия намечалась тенденция к восстановлению мембранного потенциала нервных клеток, но на протяжении 3 ч его величина не достигала контрольного уровня. После воздействия ПМП 180,0 мТл наблюдали что-то похожее на описанную выше реакцию на выключение.

Использование электрографического метода для изучения этой системы совместно с фармакологическими воздействиями является перспективной областью исследования также межцентральных отношений в ЦНС при действии ЭМП. Однако при формулировке этой проблемы нельзя забывать, что реакция головного мозга на ЭМП возникает одновременно во многих районах, а последовательность вовлечения тех или иных областей вероятнее всего определяется не параметрами воздействующего фактора, а состоянием реагирующего субстрата.

Эксперименты с изоляцией различных участков головного мозга при сохранении кровообращения показали, что деафферентированные участки ЦНС реагируют на ЭМП скорее, интенсивнее и чаще, чем интактный мозг. Необходимо в будущем проверить чувствительность и реактивность различных изолированных участков ЦНС млекопитающих к ЭМП.

Общий вывод из опытов с изолированным мозгом млекопитающих говорит о том, что система, включающая нейроны, глиальные образования и кровеносные сосуды, может реагировать на ЭМП, и в этой связи резонно проследить изменения при действии ЭМП гематоэнцефалического барьера, в который входят указанные структурные элементы мозга. Гематоэнцефалический барьер является частным случаем гистогематических барьеров, свойственных различным системам организма. Детальное изучение этой проблемы было начато академиком Л. С. Штерн в 20-х годах нашего столетия.

## НЕЙРОН ИЛИ ГЛИЯ?

Гемато-энцефалический барьер представляет собой сложную анатомическую, физиологическую и биохимическую систему, определяющую скорость проникновения отдельных веществ в мозг. На рис. 11 приведена схема сосудо-глио-нейронного комплекса, из которой следует, что важную барьерную функцию выполняет астроцит.

Хотя обсуждение вопросов влияния ЭМП на гемато-энцефалический барьер началось с регистрации морфологических изменений глиальных элементов не позже 1966 г. в работах М. М. Александровской, остро подчеркивалась его важная роль в реакциях ЦНС на ЭМП в работе А. Фрая в 1974 г., а на международном симпозиуме в 1977 г. эта проблема уже в качестве одной из важных обсуждалась за круглым столом.

Эксперименты электромагнитобиолога А. Фрая предназначены были определить влияние поля СВЧ на мозг крыс. Оказалось, что импульсное поле СВЧ было более эффективным, чем непрерывное, судя по флюоресценции срезов мозга в ультрафиолетовом свете после введения в вену 0,15 мл 4%-ного раствора флюоресцина натрия. Картина флюоресценции наводит на мысль, что сосудистое сплетение желудочков мозга участвует в реакциях ЦНС на ЭМП, но этот эффект не всегда ограничивается только желудочками, но наблюдается также и в других областях мозга, особенно в промежуточном мозге. Поскольку облучение животных было общим, нельзя с уверенностью сказать, что эффект, наблюдаемый в мозге, прямой. Он мог быть результатом рефлекторного механизма. Сосудистое сплетение мозга являлось для советского биофизика С. Е. Бреслера и соавторов [1978] объектом исследования влияния ПМП на проницаемость биологических мембран.

Изменения гистогематического барьера и микроциркуляции наблюдали советские гигиенисты у лиц, работавших в условиях воздействия неблагоприятных факторов производственной среды (химическая интоксикация, вибрация, ЭМП радиочастот), сходные изменения свидетельствуют о неспецифическом характере реакций на указанные факторы среды.

В работах американского морфолога Э. Альберта, проведенных на крысах и хомячках с использованием электронно - микроскопической методики, показаны изменения нейроглии и микроциркуляции в мозге, связанные с повышением проницаемости гемато-энцефалического барьера, после воздействия поля СВЧ 2450 МГц 10 мВт/см<sup>2</sup>.

Описанные Э. Альбертом нарушения ультраструктуры головного мозга млекопитающих совпадают с данными советских исследователей, которые изучали действие ПМП на мозг. Грузинские морфологи электронно-микроскопическим методом исследовали изменения, возникающие в средней супрасильвиевой извилине коры больших полушарий головного мозга кошки после 1-часового воздействия ПМП индукцией 60 мТл. Изменения наблюдали не во всех нервных и глиальных клетках и не во всех синапсах. В нейронах разных слоев коры отмечали сходные реакции: появление инвагинаций ядерной оболочки, расширение цистерн и каналов эндоплазматической сети, уменьшение числа рибосом, набухание митохондрий, гипертрофию комплекса Гольджи и увеличение количества лизосом. Таким образом, под влиянием ПМП изменяются почти все структурные элементы тела нейрона. Причем изменения со стороны ядерной оболочки, митохондрий и комплекса Гольджи свидетельствуют о повышении метаболических процессов, а состояние эндоплазматической сети и рибосом говорит о подавлении белкового синтеза.

Наиболее заметные изменения возникали в ультраструктуре синапсов, особенно со стороны пресинаптических терминалей. Отмечали набухание митохондрий и появление крупных полиморфных вакуолей. Такие вакуоли достигали особенно больших размеров в постсинаптических областях: дендритах и шипиках,

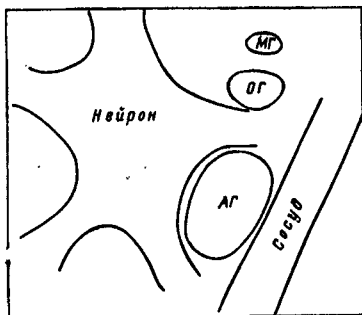


Рис. 11. Схема нейро-глино-сосудистого комплекса, являющегося структурной основой мозговой ткани

МГ — микроглия,  
ОГ — олигодендроцит,  
АГ — астроцитарная глия.

В аксодендритных синапсах возникала значительная вариабельность размеров синаптических пузырьков, их перераспределение в бутоне и уменьшение общего числа. Встречались терминали, в которых вообще не было синаптических пузырьков. Эти картины свидетельствуют о значительном нарушении синаптической передачи после воздействия ПМП.

Недавно возникла гипотеза о возможном влиянии ЭМП на микротрубочки и в связи с этим на аксональный транспорт. Это предположение связано не только с фактами, свидетельствующими об изменении функций НС под влиянием ЭМП, но и с сообщениями о возникновении при действии ЭМП катаракты в хрусталике глаза, нарушении ретины, снижении сперматогенеза и ненормальном развитии куколок насекомых. Во всех перечисленных процессах важную роль играют микротрубочки.

Если в опытах в пробирке обсуждаемая гипотеза получила подтверждение при электронно-микроскопическом исследовании мозга крыс (исчезали микротрубочки в дендритах нейронов гипоталамуса), то в экспериментах с изолированной нервной тканью (ткань головного мозга или вагусного нерва кроликов-альбиносов) воздействие импульсного ЭМП 3,1 ГГц 240—900 Вт/м<sup>2</sup> не вызвало эффекта.

Как указывалось в предыдущей главе, при регистрации электрической реакции головного мозга на различные ЭМП исследователи отмечали появление медленных высокоамплитудных колебаний биопотенциалов. В последнее время отводят важную роль в формировании именно медленных компонентов ЭЭГ глиальным элементам.

В опытах, проведенных нами совместно с М. М. Александровской методами световой микроскопии, реакция нейроглии и нейронов сенсомоторной области коры больших полушарий животных, побывавших в ПМП 20,0—30,0 мТл, определялась морфологическими методами.

Уже через 3 мин после начала действия МП на голову кролика обнаружено увеличение числа окрашенных астроцитов в поле зрения микроскопа с  $9,0 \pm 0,5$  (контроль) до  $16,7 \pm 0,4$  и увеличение числа клеток микроглии с  $11,5 \pm 0,4$  (контроль) до  $19,7 \pm 0,4$ . Отмечалось также увеличение числа клеток олигодендроглии. Нейроны при тех же условиях оставались сохраняемыми, с хорошо выраженным ядром и ядрышком.

Через 1 ч после начала воздействия ПМП у кроликов отмечали более резкое увеличение (до  $23,0 \pm 0,5$ ) числа окрашенных клеток астроцитарной глии с увеличением тел и отростков. Число клеток других видов глии также увеличивалось. Нейроны оставались интактными.

Через 10—12 ч после начала воздействия у кроликов и кошек число клеток глии в сравнении с нормой оставалось большим. Нейроны претерпевали обратимые изменения в виде набухания и гиперхроматоза.

Через 60—70 ч после начала воздействия ПМП в головном мозге у кроликов, кошек и крыс наблюдали продуктивно-дистрофические нарушения нейроглии с набуханием олигодендроцитов и появлением дренажных клеток. Дистрофические нарушения захватывали и нервные клетки. Морфологически определялась картина гипоксической энцефалопатии с дистрофическими изменениями как астроцитов, так и микроглии.

Нужно заметить, что реакцию со стороны глиальных элементов в головном мозге при действии МП отмечали многие исследователи.

Сотрудник Куйбышевского медицинского института С. А. Вашурина изучала особенности гипоталамической нейросекреции крыс после действия ПМП малых интенсивностей — от 1 до 10 мТл. Длительность воздействия продолжалась несколько минут. Материал взят непосредственно после сеанса ПМП через 15, 30 мин, 1, 2 ч, 1, 3, 5, 7, 10, 12, 15, 20 сут. Об интенсивности нейросекреции судили по количеству нейросекрета в клетках и отростках, размерам клеток, ядер и ядрышек, соотношению нейросекреторных клеток, находящихся в различных фазах нейросекреторного цикла. Полученные количественные данные обработаны статистически и составлены вариационные гистограммы. В работе также использовали метод гистоавторадиографии с введением тимидина-Н<sup>3</sup>.

Однократное 5-минутное воздействие ПМП приводило к быстрому выводу нейросекрета из нейрогипофиза: через 5—15 мин количество нейросекрета быстро снижалось. Выведение нейросекрета из нейрогипофиза, являющегося депо для нейрогормонов, происходило в течение 1 ч.

Через 1—2 ч после первого сеанса отмечался выход нейросекрета из нейроцитов супраоптических ядер, а также значительное усиление нейросекреции. В стадию синтеза переходила большая часть клеток — 48,8% (в контроле — 11,4%). Наряду с этим отмечалось значительное

количество нейросекреторных гранул в отростках нервных клеток, где образуются довольно крупные расширения в виде капель диаметром до 10 мкм и более. Возрастал объем нейросекреторных клеток.

В паравентрикулярном ядре большая часть клеток переходила в стадию синтеза и накопления нейросекрета. Активное выведение нейросекрета отмечалось через 1 сут после сеанса ПМП.

Первое воздействие ПМП приводило к тому, что большая часть клеток ядер начинала функционировать в одинаковой фазе. Под влиянием ПМП в ядрах гипоталамуса резко снижалось количество клеток, находящихся в состоянии покоя. Стадии покоя и накопления кратковременны, поэтому на препаратах большая часть клеток находилась или в состоянии синтеза, или в состоянии выведения. После действия ПМП в 10 мТ отмечался одновременный выброс нейросекрета из ядер гипоталамуса через 1—2 ч. В связи с этим нейросекрет неравномерно поступал в нейрогипофиз: в стадии выведения его много, а в стадии синтеза он почти полностью отсутствует. Этим могут быть объяснены циклические изменения, отмечаемые другими авторами в функциональной активности периферических эндокринных органов под влиянием ПМП.

Повышенная нейросекреторная активность гипоталамических ядер сохранялась в течение 10—12 сут.

Увеличение количества сеансов ПМП не вызывало дальнейшего усиления нейросекреторной активности. Стимулирующим действием на нейросекрецию обладало первое воздействие, а последующие сеансы оказывали поддерживающее действие. Повышение количества сеансов ПМП (в данном случае до 10) приводило к постепенному снижению эффекта стимуляции нейросекреции. Это свидетельствует о возможности адаптации организма к действию ПМП.

Под влиянием ПМП усиливается функция всех долей гипофиза, о чем косвенно свидетельствует повышение индекса меченых Т-Н<sup>3</sup>-ядер клеток аденогипофиза и нейрогипофиза.

Ни в одном из изученных случаев повреждающего действия ПМП на нейроны не отмечено, что свидетельствует о высоком функциональном напряжении гипоталамуса.

В этой работе показано изменение под влиянием ПМП нейросекреторной активности крупноклеточных ядер ги-

поталамуса, в которых происходит синтез гормонов вазо-прессина и окситоцина, обладающих прессорным и антидиуретическим действием.

Суммируя гистологические данные, мы составили табл. 3, из которой следует, что глия первой вовлекается в реакцию, первой среди равно реагирующих на МП элементов нейро-глио-сосудистого комплекса. Правда, роль капилляров в этой реакции изучена еще недостаточно (о чем свидетельствует знак вопроса в таблице), особенно в начальные периоды воздействия МП. Можно надеяться, что в скором времени заполнится и этот пробел в наших знаниях.

Участие глиальных образований в реакциях мозга на МП подтвердили недавно исследования [Думбадзе и др., 1980], проводимые в лаборатории известного физиолога члена-корреспондента АН СССР А. И. Ройтбака, который наиболее активно в нашей стране изучает роль глии в деятельности нервной системы. Суть упомянутых исследований заключается в том, что в вызванном электрическом ответе коры больших полушарий головного мозга при ее прямом электрическом раздражении во время действия ПМП отмечали ослабление медленного отрицательного потенциала. Такой эффект объясняют деполяризующим действием ПМП на глиальные клетки.

Знаменательно, что физиологические исследования проводятся параллельно с электронно-микроскопическими, которые показали, что в олигодендроцитах отмечается повышение электронно-оптической плотности ядра и цитоплазмы. У отдельных дендроцитов набухали тела и отростки; в них наблюдали уменьшение отдельных орга-

Таблица 3

Параметры морфологических реакций нейро-сосудистого комплекса центральной нервной системы на магнитные поля свыше 20 мТл в зависимости от длительности экспозиции

| Экспозиция     | Ней-<br>рон | Глия | Сосуд | Длительность<br>последствия | Аккумуляция |
|----------------|-------------|------|-------|-----------------------------|-------------|
| Десятки секунд | —           | —    | —     | —                           | —           |
| Минуты         | —           | +    | ?     | Десятки минут               | —           |
| Десятки минут  | +           | +    | +     | Сутки                       | +           |
| Часы           | +           | +    | +     | Недели                      | +           |
| Сутки          | +           | +    | +     | Месяцы                      | +           |

ноидов. Изредка попадались шиповидные выросты астроцитов, в которых имелись синаптические пузырьки. Скорее всего, ПМП приводило к распаду мембран астроцитарного отростка.

Из приведенного описания следует, что в зависимости от целевой установки исследователя одни и те же морфологические изменения в головном мозге после воздействия ЭМП трактуются по-разному, исходя из ориентации в объяснении тех или иных интегральных функций ЦНС, проявляющихся в поведении целостного организма.

Впервые электронно-микроскопические изучения реакций мозга на МП начал Ю. М. Ирьянов в г. Ижевске. Он использовал длительные (до 75 ч) воздействия ПМП индукцией 2; 20; 200 и 400 мТл, а также ПемП 50 Гц с индукцией 100 мТл. Исследовалась не только непосредственная реакция, но и репарационные процессы, возникающие через разные сроки после прекращения магнитного воздействия. Опыты проводились на мышах, так как эти животные становятся основным объектом магнитобиологических исследований и возможность сравнения данных различных исследователей значительно увеличивается. Изучали ультрамикроскопические изменения в нейронах и мантийных клетках гассерова ганглия, а также в седативном нерве.

Наблюдаемый эффект зависел от индукции МП (2,0 мТл эффекта не вызывали), от характера МП (переменное более эффективно, чем постоянное) и от длительности воздействий. Магнитобиологический эффект не ограничивался только временем воздействия МП, но длился еще долгое время (несколько суток) после прекращения воздействия. Эти выводы согласуются с многочисленными магнитобиологическими данными, полученными другими методами исследования. Однако оригинальность этой работы заключается в том, что в ней впервые показана высокая чувствительность к МП митохондрий, эндоплазматического ретикулума других органоидов нервной клетки.

Гипотеза о первичном действии МП на проницаемость биологических мембран сейчас наиболее распространена. Ю. М. Ирьянов [1971] также склоняется к этому мнению, основываясь на своих достаточно убедительных электронно-микроскопических данных. Однако он идет дальше указанного общего заключения, доказывая наибольшую чувствительность к МП мембран митохондрий и эндо-



плазматического ретикулума в сравнении с другими мембранами нервной клетки. Более того, чувствительность к МП мембран этих органоидов зависит и от их локализации. К примеру, в теле нейрона изменения были более выраженными, чем в нервном волокне.

Высокая реактивность нейронов связывается с характером липопротеидных связей. Ю. М. Ирьянов не расшифровывает возможную структуру этих связей, в то время как его научный руководитель К. К. Сергеев, автор липопротеидной гипотезы нейроплазмы, указывает на возможность влияния внешних МП на электромагнитные силы, создающие липопротеидные и нуклеопротеидные комплексные соединения.

Если полученные в 60-х годах электронно-микроскопические данные Ю. М. Ирьянова можно рассматривать как эпизодические (сейчас эти исследования в Ижевске не проводятся) достижения одиночки, то 70-е годы характеризуются включением в русло нейромагнитобиологических исследований нескольких гистологических школ [Сперанский и др., 1976].

В этой связи прежде всего следует указать на электронно-микроскопические работы [Эрнзаров, 1979], проводимые в Ташкентском медицинском институте под руководством М. С. Абдуллаходжаевой. В этих работах основное внимание уделяется зависимости эффекта от параметров воздействующего МП и от региональных особенностей участков головного мозга крыс (кора больших полушарий и гиппокамп). Исследователи концентрируются на детализации внутриклеточных изменений в центральном нейроне.

Представители грузинской нейроморфологической школы Т. И. Кикнадзе и Н. Л. Лаэриев подчеркивают роль глии в реакциях головного мозга кошки на ПМП, хотя также тщательно описывают структурные изменения в нервной клетке. Эти работы отличаются комплексным морфологическим и электрофизиологическим подходом к наблюдаемым реакциям.

Среди зарубежных исследователей уже упомянутый Э. Альберт, ставший недавно президентом Биоэлектромагнитного общества, уделяет много внимания структурным изменениям головного мозга после воздействия на животных полем СВЧ.

При обсуждении сложного и важного вопроса о специфичности биологического действия МП Ю. И. Ирьянов

приходит к выводу о специфическом действии МП на структуру митохондрий. Осноранием для такого вывода послужили немногочисленные литературные сведения об угнетении дыхания и окислительного фосфорилирования в МП. Однако другие данные показывают, что характер измерения процессов дыхания в МП носит фазный характер, а также зависит от интенсивности МП и особенностей биообъекта. Так что на субклеточном уровне мы еще не можем четко обнаружить специфичность в действии МП.

Анализ изменений рибосом и ядрышка в МП приводит к заключению о снижении интенсивности синтеза белка в клетке. Вероятно, здесь уместно было охарактеризовать и степень изменения синтеза РНК.

Заканчивая эту часть книги, мы должны отметить, что анализ реакций клеток ЦНС на ЭМП подтвердил основные выводы, полученные при исследовании на системном и организменном уровнях. Эти реакции могут возникать при непосредственном действии ЭМП на структуры нервной ткани. Они отличаются небольшой прочностью, значительным латентным периодом и длительным последствием. Применение гистологического метода исследований дало дополнительные сведения о характере изучаемых реакций, многие особенности которых можно объяснить вовлечением глиальных элементов ЦНС.

Следует заметить, что, изучая влияние ПМП и ПеМП индукцией от 16,0 до 32,0 мТл, американские исследователи не могли обнаружить у кроликов «нейропатологии», хотя воздействовали МП по 3—4 ч в день на протяжении 15—20 сут. Они справедливо отмечают, что нейроглия может давать подобную реакцию на воспаление (энцефалит), которое часто встречается у кроликов. Для дальнейшего анализа глиальной гипотезы, характеризующей реакцию ЦНС на ЭМП, необходимо стандартизировать объект исследования (лучше не кролики), методы окраски (они не совпадают) и способы обработки (имеются количественные методы). Напомним, что совокупность данных, которые нам известны, чаще свидетельствует об участии нейроглии в реакциях НС на ЭМП.

Косвенные данные показывают, что под влиянием ЭМП претерпевают значительные изменения окислительные процессы. Но на этом пути мы уже должны выходить за пределы физиологического анализа и приниматься за биохимические исследования.

## МЕМБРАНЫ И БИОХИМИЯ

Электронный микроскоп показал, что биохимические реакции в живой клетке протекают с активным участием мембранных процессов. Это заключение относится и к нервной, и к глиальной клетке, и к внутриклеточным органеллам.

Следует признать, что биохимические изменения в мозге, возникающие при воздействии ЭМП, изучены еще недостаточно. Так, 10-минутное воздействие ПМП 50,0 мТ на крыс приводило к увеличению в ткани головного мозга содержания аммиака на 560%, глутаминовой кислоты — на 62,9% и аспарагиновой кислоты — на 41,2%. В то же время отмечали снижение содержания глутамината на 71,3%. Знаменательно, что содержание гамма-аминомасляной кислоты, которую связывают с тормозным процессом НС, увеличивалось при этом на 60%.

В опытах на крысах ростовские исследователи изучали тканевое дыхание, окислительное фосфорилирование, анаэробный и аэробный гликолиз гипоталамуса с прилегающими к нему участками таламуса при воздействии ПемП частотой 50 Гц и индукцией 200 мТл. При воздействии ПемП на интактных крыс в гипоталамо-таламическом отделе мозга происходило значительное усиление тканевого дыхания и некоторое усиление фосфорилирования. ПемП увеличивало в мозге гликолиз, особенно аэробный. Оказалось, что непосредственно после воздействия ПемП на голову крыс происходит повышение уровня холинэстеразы в крови до 32%, а спустя 6 ч содержание холинэстеразы возвращается к исходному.

При изучении результатов воздействий ЭМП на целостный организм или локально на голову остается неясным вопрос, происходят ли наблюдаемые изменения за счет процессов, протекающих в самой нервной ткани, или они осуществляются за счет других механизмов. Поэтому представляет большой интерес изучение влияния ЭМП на деятельность изолированного мозга или одиночной изолированной переживающей нервной клетки. Нейроны являются образованиями, хорошо изолированными от электрических и магнитных влияний межклеточной жидкостью и

другими клеточными элементами. Однако, так как средняя ионная концентрация межклеточной жидкости поддерживается постоянно механизмами активного транспорта и гемато-энцефалическим барьером, то каждый раз, когда возникает потенциал действия, происходят локальные изменения концентраций ионов вследствие обмена ионами между нейронами и окружающей средой. В то же самое время внеклеточная жидкость перемешивается и движется под действием эпидимных клеток, которые снабжены ресничками. Тогда можно заключить, что локальные концентрации ионов, в частности ионов кальция и магния, могут быть изменены ЭМП и соответственно могут значительно влиять на синаптические передачи.

Ионы кальция важны для регуляции мембранного потенциала покоя и для синаптического возбуждения. Оказывается, кальций распределен в мозговой ткани дифференциально. Ионам кальция отводятся важная роль в реализации воздействия ЭМП на физико-химические (Л. Д. Кисловский) и биологические системы (А. Г. Карташев). Более высокие концентрации его находят в нейронных мембранах, в синаптических районах, в нейроглиальной цитоплазме и в нейрональных органеллах, но в нейрональной актоплазме его относительно мало. Глюкопротеины мембранной поверхности обнаруживают сильное средство к катионам, и особенно к ионам кальция и водорода. Таким образом, оказалось, что кальций играет существенную роль в классических механизмах нервного возбуждения. Помимо этого, вероятно его участие в более слабых событиях на поверхности мембраны, включая редкое взаимодействие с рассеянными молекулами гормонов и восприятие слабых электрических градиентов.

В лаборатории американского нейрофизиолога У. Эйди было показано, что слабые синусоидальные ЭП изменяли выход кальция из свежей изолированной ткани мозга цыпленка или кошки. Вслед за инкубацией (30 мин) с радиоактивным кальцием ( $^{45}\text{Ca}^{2+}$ ) каждая проба помещалась в свежий физиологический раствор и подвергалась 20-минутному воздействию полей 1, 6, 16, 32 или 75 Гц с электрическим градиентом 5, 10, 56 и 100 В/м. Выход  $^{45}\text{Ca}^{2+}$  в раствор измеряли затем в 0,2 миллилитровой навеске и сравнивали с выходом из контрольных проб. Все пробы находились при температуре 36° С. Воздействие ЭП приводило к уменьшению освобождения кальция. Максимум снижения наблюдали при 6 и 16 Гц

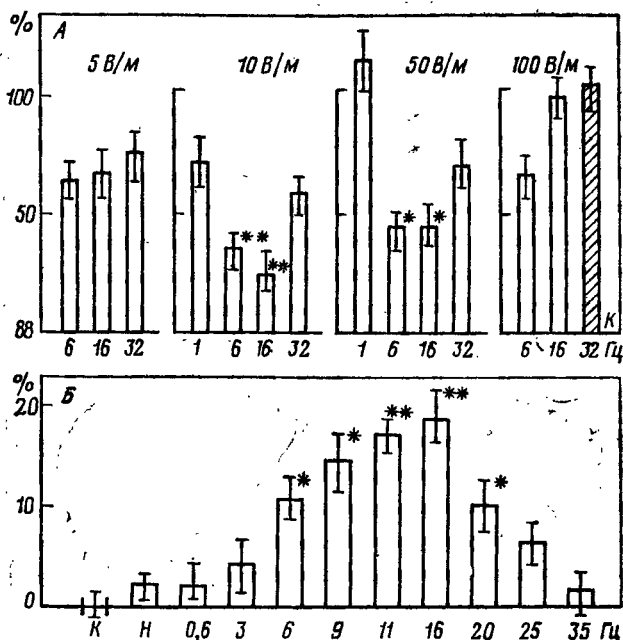


Рис. 12. Выход Са из ткани мозга цыпленка после воздействия ЭП (А) и поля СВЧ (Б) [Эйди, 1977]

Абсцисса — частота (Гц); ордината — величина реакции (%). Звездочками отмечены достоверные отличия от контроля. Цифры сверху — напряженность ЭП (В/м), к — контроль

(от 15 до 20%). Пороги были около 10 и 56 В/м для мозга цыпленка и кошки соответственно (рис. 12).

Ранее описано резкое увеличение выхода кальция из изолированной ткани мозга цыпленка при действии модулированных радиочастотных ЭМП. Эти исследования показали, что ответ наблюдался в узкой полосе низкочастотных модуляций (6—25 Гц) и, что характерно, отсутствовал при действии немодулированной несущей волны (147 МГц).

Исследования различных участков изолированной коры больших полушарий мозга кошки показали значительное снижение выхода кальция при действии ЭП частотой 6 и 16 Гц с градиентом 56 В/м. Незначительные тенденции к снижению выхода наблюдали также в поле данной напряженности при частотах 1,32 и 75 Гц. Никаких существ-

венных эффектов не наблюдали не только в поле 10 В/м с частотой 6,16 и 32 Гц, но и в поле 100 В/м с частотой 6 и 16 Гц. Следовательно, мы имеем «резонансную» кривую с максимальной чувствительностью ткани в области 6 и 16 Гц и с амплитудным окном между 56 и 100 В/м.

Не было обнаружено разницы между различными корковыми участками, которые относились к преимущественно сенсорным, двигательным или ассоциативным областям.

Данные по выходу кальция при действии низкочастотных ЭМП на мозговую ткань цыпленка и кошки могут быть объединены в некоторой последовательности. Начальные изменения происходят на продольной оси мембраны, включая, возможно, макромолекулярные конформационные изменения, зависящие от изменений связей кальция с полианионными гликопротеинами. Слабое изменение в одной точке может вызвать макромолекулярные конформационные изменения на значительном расстоянии вдоль мембраны.

Для низкочастотных и радиочастотных ЭМП обнаружено существование минимальной чувствительности к полям «биологической» частоты, но результаты четко показывают, что способ взаимодействия зависит от амплитуды поля. Возможное основание для этой амплитудной избирательности может лежать в способе связывания кальция с цепями биополимеров.

Если, как предполагали раньше, кооперативная динамика связывания кальция на возбудимых мембранах определяет предельный цикл поведения, то субстратно-кальциевое равновесие будет колебаться с фиксированной частотой и амплитудой.

Таким образом, слабое нарушение любого параметра может легко разрушить электрохимическое равновесие. Однако имеющиеся результаты не могут указать на дипольный момент или на другую молекулярную чувствительность в таком узком частотном диапазоне. Существованием амплитудного окна для этих прямых взаимодействий внешних низкочастотных ЭП с тканью мозга можно объяснить описанные ранее поведенческие и нейрофизиологические изменения.

Спонтанные циркадные ритмы у человека и птиц, живущих в экранированных камерах, становились короче при наложении электрического поля 10 Гц прямоугольной волны с градиентом 2,5 В/м в воздухе. Оценки

интервалов времени (5 с) у обезьян ускоряются на 10% при наличии 7 Гц, 10 В/м синусоидального электрического поля. Дальнейшие исследования расширили эти представления, показав максимальную чувствительность в области 7 Гц с прогрессивным увеличением порогов к 45 и 75 Гц.

При исследовании распределения РНК в рецепторе рака микрофотометрическим методом выявились изменения, особенно резко выраженные в зонах отхождения дендритов и аксона. К 30-й минуте действия ПМП в области отхождения дендритов наблюдается уменьшение плотности, а в области отхождения аксона, наоборот, увеличение плотности РНК. После снятия ПМП через 30 мин наступает некоторое восстановление исходной картины. Фотометрирование тела нейрона по поперечному диаметру выявило увеличение плотности РНК к 30-й мин действия ПМП в перинуклеарной области, сглаживающееся после прекращения действия ПМП.

Результаты этих опытов говорят о том, что реакции нервной ткани на ПМП могут иметь в основе изменения свойств генерации импульсов нейронами. Нарушение функциональной деятельности нейронов, по-видимому, является отражением изменения характера их внутриклеточного метаболизма, которое наблюдали в данном случае по показателям динамики РНК, имевшим место при действии ПМП.

Влияние на метаболизм НС других диапазонов ЭМП интенсивно исследуют харьковские гигиенисты под руководством Г. И. Евтушенко. Были отмечены изменения разных сторон обмена НС при воздействии ИМП и при воздействии поля УВЧ. В последнем случае нужно отметить большое количество обследованных животных (500 крыс), широкий набор биохимических методик, изучение раздельного воздействия электрической и магнитной компонент ЭМП, вариации в способах воздействия (однократный, многократный и хронический) и в его интенсивности. Интересно, что при воздействии ЭП наиболее чувствительным показателем оказалось содержание лактата в мозгу и крови, а для МП — содержание преформированного аммиака и повышение содержания амидного азота в белках мозга крыс. Эти результаты дают дополнительный материал для выяснения специфичности воздействия магнитных и электрических полей. В будущем желательно сопоставить эти оригинальные биохимические данные с

результатами физиологических и морфологических исследований.

Можно надеяться, что именно на этом уровне изучения функций НС будет выявлена специфичность действия различных диапазонов ЭМП, как она начинает выявляться при изучении разных компонент ЭМП.

Поскольку показано, что внешние ЭМП изменяют состояние мозга, возникают вопросы, касающиеся роли внутренних мозговых низкочастотных ЭМП.

## Глава 10

### СОБСТВЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ МОЗГА

О биопотенциалах мозга написаны тысячи научных и популярных статей и книг за те полвека, что прошли со времени начала регистрации электроэнцефалограммы человека немецким физиологом Г. Бергером.

В те же годы советским академиком А. В. Леонтовичем была выдвинута гипотеза о нейроне как аппарате переменного тока. На основании нейрогистологических исследований он пришел к выводу, что у нейрона имеются катушки и емкости, иными словами все то, что надо для контура Томпсона, предназначенного для генерации ЭМП. Поэтому он решил, что передача информации с нейрона на нейрон может происходить двумя путями: химическим и электрическим.

Советские академики П. П. Лазарев и В. М. Бехтерев считали принципиально возможным зарегистрировать ЭМП биологического происхождения, а известный английский электрофизиолог Е. Д. Эдриан скептически относился к этой идее.

Ученик А. В. Леонтовича Б. В. Краухин сообщил в 1945 г., что ему удалось зарегистрировать магнитное поле возбужденного нерва лягушки с помощью специальной катушки. Но эти результаты не были подтверждены. Попытки намагнитить иглу, помещенную рядом с мышцей или нервом животного, не увенчались успехом.

Много копий поломано при обсуждении роли электрических полей в целостной деятельности мозга. Поскольку показано, что внешние электрические поля изменяют со-



стояние мозга, возникают вопросы, касающиеся роли внутренних мозговых низкочастотных ЭМП.

Нелишне напомнить, что вся громадная сегодняшняя электротехника зародилась от биоэлектричества рыб и лягушек. За два века своего интенсивного развития электротехника успела позабыть свои истоки и черпает новые идеи для прогресса из собственного арсенала. В этой колыбели возникла и радиотехника. В наши дни мы наблюдаем обратный процесс: влияние радиотехнических идей на объяснение механизма самых разных биологических процессов.

В 40-х годах нашего века при использовании метода перерезок удалось получить факты, которые позволили выдвинуть теорию об электрическом (эфаптическом) взаимодействии нервных клеток коры больших полушарий головного мозга. Отмечается роль эфаптической передачи в деятельности рядом расположенных нервных волокон. Кроме того, эта проблема обсуждается и при изучении перехода нервного возбуждения на эффекторный орган, в частности на мышцу.

При изучении условий перехода на нейронально изолированную полосу коры головного мозга высокоамплитудных судорожных разрядов, вызванных отравлением стрихнином интактной части полушария, констатировали, что такой переход возможен, если генерируются биопотенциалы не ниже 500 мкВ.

Нужно отметить, что нейрофизиологи, изучающие эфаптическое распространение нервного возбуждения, обычно не обсуждают вопросы возможного моделирования такого распространения с помощью воздействия искусственных ЭМП. Эфаптическое воздействие для них значит прежде всего несинаптическое. На доказательстве различий в этих воздействиях они и сосредоточиваются, и о параметрах ЭМП, осуществляющих эфаптическое воздействие, мы имеем очень смутные представления.

Пока только на примере рыб убедительно показано биологически значимое существование разных по силе живых генераторов ЭМП. Здесь мы ограничимся обсуждением электрической составляющей ЭМП. Вероятно, впервые его замерил английский физик Джон Деви в 1832 г. у одной из электрических рыб, хотя этих экзотических животных с усердием изучали такие всемирно известные естествоиспытатели прошлого века, как А. Гумбольдт, М. Дюбуа-Раймон, М. Фарадей и др.

Начало современного этапа в изучении биоэлектрических полей рыб связывают с именем английского эколога Х. Лиссмана, который в 1958 г., используя современную электронную технику, показал, что некоторые рыбы используют свои ЭМП для локации и связи. Сейчас такие работы интенсивно развиваются.

Еще раньше морфологи, изучавшие строение рыб, отметили у некоторых их представителей наличие специальных органов, которые генерируют ЭМП, и специальных органов чувств (электрорецепторы), которые их воспринимают.

Предполагается, что из 20 тыс. видов рыб, плавающих сейчас в водоемах Земли, не менее 300 видов способны создавать ЭМП. По напряженности создаваемых ими ЭМП рыб можно разделить на три группы: электрических, создающих ЭМП свыше 20 В в целях нападения и обороны; слабоэлектрических, создающих ЭМП до 17 В в целях локации и связи, и неэлектрических (до нескольких милливольт). Генерируемые рыбами ЭМП располагаются в полосе частот до 2 кГц. Они создаются или специальными электрическими органами или неспециализированными нервно-мышечными структурами.

Биологические ЭМП ничем не отличаются по своим свойствам от ЭМП, созданных техническими генераторами, т. е. имеют электрическую и магнитную составляющие, ослабляются с расстоянием и т. п.

Наверняка у биологических ЭМП имеются те же биотропные параметры, как и у искусственных ЭМП. Во всяком случае уже известно, что рыбы более чувствительны к переменным полям в сравнении с постоянными, что реакция зависит от частоты, формы и длительности импульсов.

Чувствительность рыб одной группы располагается в пределах 0,01—0,1 мВ/см, а другой — в пределах 10—100 мВ/см, т. е. на несколько порядков ниже. В первом случае речь может идти о своеобразном электрическом восприятии внешней среды. Предполагают, что центры, регулирующие электрорецепторы, располагаются в продолговатом мозге и мозжечке. Следовательно, для некоторых животных электромагнитный океан становится зримым.

Главные направления в использовании биологических ЭМП рыбами заключаются в обороне и нападении, в пространственной ориентации и в сигнализации, связанной с

общением между биообъектами. Интересно, что группа рыб на ЭМП реагировала лучше, чем одиночная особь. Возникают интересные вопросы об эволюционной исключительности рыб при использовании ЭМП. Можно надеяться, что некоторые стороны использования ЭМП рыбами со временем будут обнаружены и у других водных или наземных животных.

Впервые в «сухопутных» условиях электрические поля удалось зарегистрировать у земноводных животных. Но это случилось не потому, что у земноводных ЭМП сильнее, чем у растений, птиц или млекопитающих, а по той причине, что лягушка явилась излюбленным и удобным экспериментальным объектом для нейрофизиологов. Как раз изолированный седалищный нерв гигантской лягушки был объектом исследований американцев Барра и Маура, которым удалось на расстоянии до 12 мм отмечать возникновение ЭМП в момент возбуждения нерва.

Более детальные работы по регистрации электрических ауральных (от греческого слова «аура» — воздух) полей у различных сухопутных животных и у человека проводятся с 1966 г. в Ленинградском государственном университете под руководством профессора П. П. Гуляева. Были подтверждены данные о существовании ЭП у возбужденного изолированного нерва лягушки. Впервые обнаружили ЭМП у возбужденного изолированного рецептора растяжения речного рака.

Нужно отметить, что сам факт синхронизации в активности большого числа нервных клеток привел к предположению об их объединении не только синаптическим (контактным), но и эфферентным (через ЭП) путем.

Как ни интересны ЭП, сегодня наиболее интригующими являются магнитные поля мозга. В этой области, как в прошлом в области эмоций, другом — соперником мозга выступает сердце.

Известно, что биотоки нашего организма, возникающие за счет биохимических реакций, играют большую роль в физиологических процессах (особенно в деятельности сердца и мозга!), объединяя функционирование отдельных элементов указанных органов. Уже теоретически можно было предсказать, что биотоки должны порождать биоманнитные поля, но практически зарегистрировать такие поля было очень трудно.

Цену усилий можно оценить хотя бы по тому факту, что, как мы теперь знаем, магнитное поле сердца челове-

ка составляет примерно миллионную часть земного магнитного поля, а магнитное поле мозга еще в 100 раз слабее.

Перед исследователями биомагнитных полей, как и перед героями древних былин, вставали три главных препятствия, которые казались неодолимыми. Во-первых, нужно было создать датчик для обнаружения очень слабых магнитных полей. Во-вторых, нужна была уникальная усилительная аппаратура, необходимая для регистрации воспринятых слабых сигналов. И, в-третьих, нужна была экранировка от земного магнитного поля и технических электромагнитных помех.

Начальное решение первой проблемы можно назвать лобовой атакой. Из школьного курса физики известно, что магнитное поле наводит электрический ток в витке провода, а величина этого тока зависит от интенсивности поля и от числа витков, используемых для регистрации магнитного поля. Поскольку интенсивность биомагнитного поля очень мала, чувствительность датчика можно было повысить за счет увеличения числа витков. Исходя из такого простого рассуждения, советские и американские исследователи независимо друг от друга сумели в начале 60-х годов нашего века впервые зарегистрировать магнитное поле сердца человека, используя катушки, число витков в которых достигало миллиона. Но это был предел возможностей датчиков такого рода: воспринимать более слабые, а также стационарные магнитные поля, возникающие, например, при повреждении сердца — эти датчики не могли. Нужны были другие идеи.

Помощь пришла с неожиданной стороны. Работая в области криогенной техники со сверхпроводящими материалами, английский ученый Б. Д. Джозефсон (он получил Нобелевскую премию за свое открытие) обнаружил, что между двумя сверхпроводниками, разделенными тонким слоем диэлектрика, возникает в этих условиях электрический ток, параметры которого в значительной степени зависят от окружающего магнитного поля. Этот принцип позволял регистрировать очень слабые как переменные, так и постоянные магнитные поля, что выгодно отличало его от датчиков в виде катушек.

На основе эффекта Джозефсона были созданы СКВИДы (сверхпроводниковые квантовомеханические интерференционные датчики), чувствительность которых может достигать величины  $10^{-14}$  Тл. Магнитометры, ра-

ботающие на базе СКВИДа, получили широкое распространение в геофизических и космических исследованиях, в экспериментальной физике и, что нас в наибольшей степени интересует, в медико-биологических исследованиях.

Регистрация магнитных полей человека с помощью СКВИДов была начата в середине 60-х годов в США, а позже в орбиту этих исследований включались и другие страны (Канада, Франция, Япония, Финляндия, Италия и др.). В августе 1978 г. в Гренобле (Франция) состоялось Международное рабочее совещание по биомagnetизму, на котором в основном обсуждались проблемы, связанные с регистрацией магнитных полей здорового и больного сердца и мозга человека.

Нужно заметить, что магнитография человека на основе СКВИДов остается еще относительно дорогой процедурой, а к недостаткам этих датчиков следует отнести их сложность и необходимость регулярной заливки дефицитным жидким гелием.

Более перспективными по отмеченным параметрам могут быть квантовые магнитометры с оптической накачкой (МОН), практическое применение которых успешно развивается в нашей стране. Ленинградским исследователям во главе с Е. Б. Александровым в 1978 г. была присуждена Государственная премия за цикл исследований МОН.

В Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР (ИЗМИРАН) А. Н. Козловым и С. Е. Синельниковой несколько лет назад был создан МОН, в датчике которого использовались пары щелочного металла цезия. Созданный геофизиками прибор оказался пригодным и для медицинских целей. В этом случае уже не требуется дорогая и сложная криогенная техника, на основе которой работают СКВИДы, а чувствительность прибора достаточно высока [Ливанов и др., 1978].

Таким образом, имеются три пути преодоления трудностей при создании датчиков для восприятия биомagnetных полей: катушки с миллионами витков, СКВИДы и МОНы. Для преодоления второго препятствия — создания надежной усилительной техники — за прошедшие годы наметилось много путей, и мы их перечислять не будем, заметив только, что препятствие это преодолимо.

Когда я летом 1978 года посещал Хельсинкский техно-

логический университет, финские коллеги показали мне запись МКГ эмбриона, находящегося еще в утробе матери. Таким образом, магнитография позволяет «разглядеть» отдельные внутренние органы, создающие биоманнитные поля, и оценить их работу.

Я уже перечислял органы, от которых записаны биоманнитные поля, но меня как нейрофизиолога прежде всего привлекает возможность регистрации магнитных полей мозга магнитоэнцефалограммы (МЭГ).

Впервые сообщение о регистрации МЭГ опубликовал американский исследователь Д. Коен в 1968 г., но лишь в последние годы научились надежно регистрировать не только фоновую МЭГ, но и вызванные магнитные поля мозга, возникающие при действии световой вспышки, звукового щелчка или электрического раздражения пальца руки испытуемого.

Детальное сравнение фоновых МЭГ и ЭЭГ при их одновременной регистрации у одного и того же испытуемого показало, что в состоянии бодрствования имеется строгое соответствие МЭГ и ЭЭГ в диапазоне альфа-ритма (8—14 Гц). Но при засыпании человека, что сопровождается обычно преобладанием медленной активности в электрической деятельности мозга, медленные волны могли появляться одновременно в ЭЭГ и МЭГ или только в ЭЭГ, или только в МЭГ. Подобные эпизодические рассогласования в показателях МЭГ и ЭЭГ были обнаружены у больных эпилепсией во время их бодрствования. Эти факты свидетельствуют о возможности получения новой информации о деятельности мозга с помощью метода МЭГ.

Еще большие различия между ЭЭГ и МЭГ выявились при сравнении вызванных ответов мозга. Маннитные ответы четко локализовались над проекционными областями соответствующих анализаторов в коре больших полушарий головного мозга человека, тогда как электрические ответы были более расплывчатыми. Маннитный ответ в большей степени зависел от интенсивности применяемого раздражителя, чем электрический ответ мозга.

Следовательно, некоторые тайны целостного мозга можно узнать с помощью чувствительного магнитометра, а совершенствование этого прибора позволит больше узнать и о деятельности отдельной нервной клетки. На пути совершенствования методов магнитометрии можно, судя по публикациям, встретить такие альянсы, как,

Рис. 13. Запись магнитных полей сердца, мышц, глаза и мозга с помощью магнитометра оптической накачки

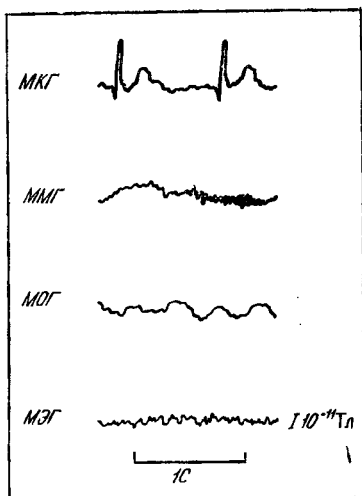


Рис. 14. Одновременная запись ЭЭГ и МЭГ человека с помощью СКВИДа [Коен, 1975]

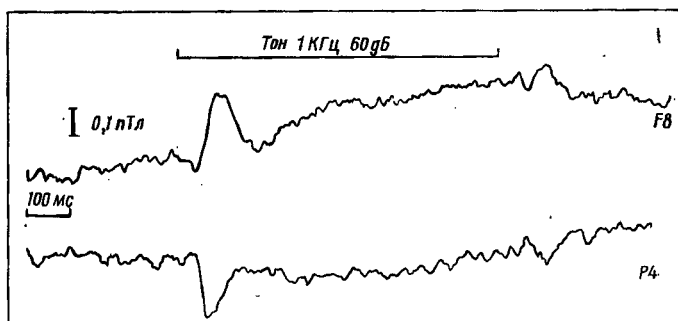
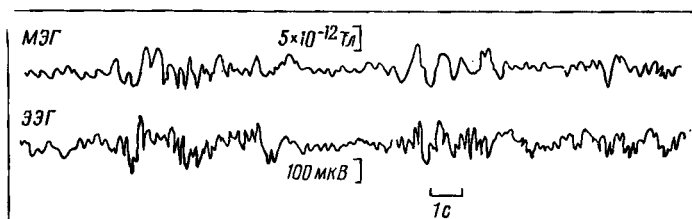


Рис. 15. Вызванный магнитный ответ на звуковое раздражение, записанный с разных участков ( $F_8, P_4$ ) мозга автора книги финскими исследователями А. Пенттиеном и К. Рейникайненом в магнитоэкранированной комнате в Финляндии

например, специалиста невролога со специалистом по магнетизму геологических объектов. Задача у этих специалистов одинаковая — определить слабые магнитные поля.

В наших условиях прохождение по коридору человека со вставными металлическими зубами могло сказаться на работе чувствительного магнитометра. А если сотрудник в соседней комнате брал в руки ножницы для вскрытия почтового конверта, то прибор «зашкаливал» на несколько минут.

По внешнему виду основная часть градиентометра напоминает бинокль или скорее микроскоп. Два датчика представляют собой параллельно расположенные два вакуумных стеклянных цилиндра, заполненных парами цезия. Два гибких световода доносят свет специальной лампы до цилиндров, а два экранированных провода относят от цилиндров электрические сигналы, порожденные в фотодетекторе на других концах цилиндров. Эти сигналы меняются при действии биоманитных полей, а усилительная и регистрирующая аппаратура фиксирует такие изменения [Ливанов и др., 1978].

По своему назначению градиентометр также можно сравнить с микроскопом, поскольку он позволяет разглядеть малые магнитные поля, генерируемые различными органами человека.

На рис. 13 видно, что, располагая датчик возле сердца, мы можем записать магнитокардиограмму (МКГ). Помещая датчик около плеча, мы уже не видим магнитных полей сердца, так как они быстро уменьшаются с расстоянием, но можем зарегистрировать магнитные поля мышц (магнитомиограмму — ММГ), возникающие при сокращении бицепсов. Моргание глаз тоже не ускользнет от чуткого датчика прибора и отразится в магнитоокулограмме (МОГ). Наконец, когда датчик располагали около затылка, регистрировали магнитные поля мозга (магнитоэнцефалограмму — МЭГ). Можно видеть, что наибольшие магнитные поля создает сердце, а наименьшие — мозг. Поэтому МКГ исследована сегодня наиболее полно.

На рис. 14 можно видеть одновременную запись МЭГ и ЭЭГ у одного и того же испытуемого. Бросается в глаза похожесть двух процессов, если не обращать внимания на изменение фаз и выраженность отдельных волн. Отсюда следует, что источниками магнитных и электрических сигналов чаще всего являются одни и те же физиологические процессы. Только МЭГ могли регистрировать



бесконтактным методом на расстоянии до 2 см от поверхности черепа испытуемого, а для регистрации ЭЭГ всегда необходимы контакты с кожной поверхностью пациента.

Неэмоциональные слова «бесконтактный метод» свидетельствуют о значительном преимуществе магнитографии в медицине в сравнении с электрографией. От контактов электродов с кожной поверхностью человека в значительной степени зависит качество получаемых записей, по которым ставят диагноз. Обеспечить одинаково хороший контакт часто бывает трудно (он зависит от индивидуальных свойств кожной поверхности), а иногда и вовсе невозможно (при кожных заболеваниях, при обширных ожогах и т. п.).

Кроме того, контакты с электроаппаратурой требуют повышенной заботы об электробезопасности процедуры, тогда как магнитография избавляет персонал от таких забот, упрощая процедуру записи до минимума.

Наконец, запись магнитограмм человека можно осуществлять намного быстрее, чем запись электрограмм, значительно увеличивая тем самым пропускную способность соответствующих кабинетов.

Во время моего недавнего пребывания в Лаборатории низких температур Хельсинкского технологического университета в магнитоэкранированной камере с помощью СКВИДа финские исследователи зарегистрировали вызванное магнитное поле на звук в двух областях мозга (рис. 15). Интересно, что вектор МП во фронтальной области был другого направления, чем вектор в височной области, чего нельзя было обнаружить при регистрации вызванного электрического потенциала на тот же звук.

Сегодняшнее прозаическое перечисление преимуществ бесконтактной регистрации магнитных полей мозга уместно сравнить с недавними сообщениями о «мозговом радио» и других фактах, относящихся к разряду таинственных явлений человеческой психики.

## ТАИНСТВЕННЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Всего лишь двадцать лет назад известный ленинградский физиолог профессор Л. Л. Васильев в своей книге «Таинственные явления человеческой психики» выделил главу «Существует ли „мозговое радио“?». Кроме случаев так называемой спонтанной телепатии, в этой главе описываются попытки зарегистрировать ЭМП вокруг головы человека.

Те же самые двадцатые годы нашего столетия, которые породили метод ЭЭГ человека и предположения об электрических разговорах нейрона с нейроном, дали основания для гипотезы о «мозговом радио». Это направление исследований связано с именем итальянского невролога Ф. Кацамалли. Он сообщал, что когда человек, находящийся в электрически экранированной камере, испытывал эмоциональное возбуждение, экспериментатор мог прослушивать звуки, усиленные радиоприемником. Иногда эти радиоволны мозга Ф. Кацамалли регистрировал графически, хотя относил их к метровому, дециметровому или сантиметровому диапазонам. Заметим, если волны мозга можно было слышать, значит, по крайней мере они модулировались звуковой частотой.

В Ленинградском институте мозга им. В. М. Бехтерева попытались повторить опыты Кацамалли, но не получили положительных результатов.

Немецкие физики Ф. Зауербрух и В. Шуман сообщили в 1928 г., что сумели зарегистрировать ЭМП мышц человека и животных с частотой 50 Гц. Академик П. П. Лазарев писал: «Всякое ощущение, всякий акт движения должны образовать волны, и голова человека должна излучать волны большой длины (до 30 000 км) в окружающую среду»<sup>1</sup>. Следовательно, одни исследователи говорили о низкочастотных ЭМП, излучаемых мозгом человека, а другие — о высокочастотном; одни регистрировали электрическое поле вокруг возбужденного нерва лягушки [Гуляев и др., 1977], другие — магнитное [Краюхин, 1945], а третьи ничего не могли зарегистриро-

<sup>1</sup> П. П. Лазарев. Физико-химические основы высшей нервной деятельности. М., 1922, с. 46.

вать [Хведелидзе и др., 1965]. Последние авторы приводят расчеты, согласно которым магнитное поле возбужденного нерва должно иметь величину порядка  $10^{-13}$ — $10^{-15}$  Тл, что находится за пределами чувствительности имеющейся аппаратуры.

Некоторые исследователи в качестве датчика «мозгового радио» предлагают использовать мозг другого человека, предполагая при этом, что передача идет в сантиметровом диапазоне или с помощью низкочастотных ЭМП [Путхофф, Тарг, 1976].

Даже краткое изложение тех фактов, которые посвящены «мозговому радио», показывает, что это таинственное явление психики может изучаться с помощью современных технических средств путем регистрации магнитоэнцефалограммы. МЭГ имеет только диагностическое значение и нам неизвестны сообщения о том, чтобы магнитные поля мозга одного человека как-то влияли на деятельность мозга другого человека.

Другое дело — влияние искусственных ЭМП на мозг. Здесь имеется немало «таинственных» аспектов, связанных со старением, с оживлением и с явлениями сна.

Возможно, впервые А. Л. Чижевский заметил еще в 1940 г., что ослабленное МП укорачивает жизнь крыс. К подобным выводам пришли американцы Ван Дейк и Халперн, но уже в опытах на мышах, результаты которых опубликованы в 1965 и 1966 гг. Ослабленные МП укорачивали также жизнь дрозофил.

Когда на сессии Американской ассоциации содействия науке в 1978 г. перечисляли 37 способов продления жизни, которые, скорее всего, будут использоваться к 2000 г., то забыли упомянуть о благоприятном воздействии МП на процессы старения. Между тем имеются сообщения, что МП определенной индукции могут увеличивать как среднюю, так и, что особенно привлекательно, видовую продолжительность жизни позвоночных животных и насекомых при общем воздействии. Особенно ярко в экспериментальных условиях выявляется увеличение срока жизни под влиянием МП в условиях некоторых неблагоприятных факторов (инфекция, радиация, гипоксия и т. д.).

Ростовские исследователи Л. Х. Гаркави, Е. Б. Квакина и М. А. Уколова [1979] сообщают, что после воздействия в течение 2—3 месяцев ПемП на голову пожилых крыс животные превращались в подвижных и бод-

рых. Редкая грубая шерсть сменялась мягкой и густой, глаза становились ярко розовыми, а кожа мягкой и эластичной. Омоложденные животные отличались от молодых только по размеру.

Объяснение этим поразительным результатам авторы находят в гипотезе преодоления хронического стресса, характеризующего старость, путем развития свойственной молодости реакции активации (предстрессовое состояние, сопровождающееся увеличением тимуса, определенным соотношением нейтрофилов и лимфоцитов в крови, умеренным повышением активности щитовидной железы и половых желез и преобладанием секреции минералкортикоидных гормонов коры надпочечников). Длительное поддержание реакции активации приводило у самок к восстановлению нормального полового цикла.

Существует элевационная теория старения (В. М. Дильман), которая исходит из того факта, что в старости повышается активность гипоталамуса. На протяжении всей книги мы не раз обращали внимание на выраженную реакцию гипоталамуса при воздействии ЭМП. Отмечался также корригирующий характер действия ЭМП на функции мозга. Эти же факты пригодились для объяснения омолаживающего эффекта МП.

В опытах на крысах было показано, что для поддержания молодости следует через определенный период повторять сеансы воздействия МП.

ЭМП могут влиять на мозг и сразу после смерти. По крайней мере такой вывод можно было сделать уже из названия доклада «Электрическая активность мозга в постлетальном периоде, вызванная облучением электромагнитным полем», представленного группой исследователей, возглавляемой В. В. Тяжеловым из Института биологической физики АН СССР. Доклад зачитан на Всесоюзной конференции «Действие физических факторов на живой организм», проходившей в Одессе в апреле 1978 г.

Напомню читателю, что латинский термин «постлетальный» переводится на русский язык как «после смерти». С другой стороны, известно, что сам факт смерти устанавливают по прекращению электрической активности мозга. Следовательно, влияя на мертвую (даже отрезанную) голову кролика, у которой, конечно, нет ЭЭГ, импульсно-модулированным полем СВЧ с плотностью потока мощностью около  $5,0 \text{ мВт/см}^2$ , можно получить

кратковременное (на 30—60 с) возникновение ЭЭГ. Такое «оживление» может возникнуть после минутного воздействия полем СВЧ и тем надежнее, чем короче был интервал между моментом прекращения ЭЭГ и моментом начала воздействия. Самый большой интервал, установленный экспериментаторами, достигал 3 ч. В дальнейшем речь должна идти и о других таинственных явлениях человеческой психики — о сне и сновидениях.

Сноподобное действие ЭМП отмечали многие исследователи. Сюда можно отнести повышение порогов на сенсорные и болевые раздражители, торможение условных рефлексов и, главное, преобладание в ЭЭГ тех картин, которые характеризуют стадию медленноволнового сна. Можно еще добавить, что центр сна обычно локализуют в гипоталамусе, который, по многочисленным сообщениям, наиболее чувствителен к ЭМП.

Химия медленноволнового сна также похожа на изменения в мозгу при действии ЭМП. Например, введение гамма-аминомасляной кислоты вызывает появление веретен и преобладание в ЭЭГ волн дельта-диапазона, а также сон по поведенческим показателям.

Подобные изменения вызывало введение в кровяное русло животного серотонина или его предшественников. Магнитобиологические работы показывают, что содержание в организме указанных выше веществ меняется при воздействии МП.

Как показал наш краткий обзор, проблемы, связанные с влиянием ЭМП на мозг, нередко относят к разряду «таинственных», констатируя наше незнание каких-то существенных сторон мозговой деятельности. Часто встречаются замечания о том, что магнитные поля обладают сомнительным биологическим действием, и пора разобратся в этом деле. Привкус таинственности, противоречивости, зыбкости все еще сопровождает исследования по электромагнитной биологии. Неспроста, считают некоторые, слово «магия» идет в предметном указателе сразу после слова «магнетизм», а понятия «гипнотизер» и «магнитезер» являются синонимами.

Таинственность пасует там, где все становится понятным и где ясен механизм явлений и возможно их повторение. Следовательно, настала пора поговорить о механизмах.

## ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Начать эту главу следует с того, что понятие «механизм действия» является очень многоликим понятием, включающим как биологические, так и физико-химические и даже квантово-механические подходы. Например, для нейрофизиолога важным является обсуждение рефлекторного и непосредственного механизмов действия ЭМП на мозг. Автору этих строк много сил и времени понадобилось, чтобы доказать (вначале себе самому, а потом и другим) существование непосредственного действия ЭМП на ЦНС. Теперь можно утверждать, что с этой пространственной точки зрения в механизм биологического действия ЭМП на мозг включаются как рефлекторные, так и непосредственные процессы.

Таблица 4

Время появления различных реакций нервной системы на магнитные поля выше 20 мТл

| Время           | Виды реакций                                                                                      |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Секунды (1 — 3) | Нет                                                                                               |
| Десятки секунд  | Сенсорная, ЭЭГ, условнорефлекторная                                                               |
| Минуты          | Двигательная активность, изменения сенсорных процессов, электрическая активность, УР и морфологии |
| Часы            | Дистрофические изменения                                                                          |
| Сутки           | Деструктивные изменения                                                                           |

Характеризуя механизм влияния ЭМП на мозг с временных позиций, следует отличать по крайней мере быструю систему реагирования (в случае радиозвука, вызванного потенциала на импульс поля СВЧ, магнитофосфена и других явлений) и медленную систему, проявляющуюся в случае изучения сенсорной индикации МП, ЭЭГ-реакций на ЭМП и т. д. Распределение временных параметров появления отдельных реакций ЦНС на МП отображено в табл. 4.

В этот анализ временной последовательности включения различных механизмов мозга и организма в реакции

на ЭМП следует включить ответы на выключение ЭМП, последствие, репарационные изменения и т. д. Сейчас еще мало фактов, чтобы нарисовать правдоподобную картину развития перечисленных процессов. Остается пока констатировать сложность этой задачи и дожидаться накопления экспериментального материала и появления новых свежих идей для его обобщения.

Нервную систему часто разделяют на двигательную и вегетативную. Хотя обе они подвержены влиянию ЭМП, вегетативная нервная система выступает как более чувствительное образование. Об этом подробно пишет М. И. Яковлева в своей книге, которая называется «Физиологические механизмы действия электромагнитных полей» [Л., Медицина, 1973].

В вегетативную нервную систему входят парасимпатический (как полагают, более чувствительный к ЭМП) и симпатический отделы, которые совместно обеспечивают регуляцию деятельности внутренней системы организма. На эти регуляторные процессы и действуют ЭМП, изменяя чаще всего деятельность органа, вызванную какими-то другими причинами.

Конечно, физиологические механизмы действия ЭМП не ограничиваются вегетативной нервной системой. Можно раздельно рассматривать чувствительность к ЭМП отдельных участков рефлекторной дуги: реценсор—центральный звено — эффе́ктор. И здесь центральное звено оказалось более уязвимым.

При электрическом раздражении седалищного нерва крысы (находящейся под наркозом) можно регистрировать как биоэлектрические процессы в иннервируемой мышце, так и биопотенциалы различных отделов головного мозга. Если крысу поместить на 10—20 мин в постоянное магнитное поле с индукцией 400 мТ, то в икроножной мышце нельзя было заметить изменений потенциала действия (рис. 16), в то же время вызванный потенциал на электрическую стимуляцию указанного нерва увеличивался по амплитуде и приобретал дополнительные колебания. Сходную картину наблюдали как в сенсомоторной области коры больших полушарий головного мозга, так и в гипоталамусе и в коре мозжечка. Подобные изменения вызванного потенциала наблюдали при повышении уровня бодрствования животного или при увеличении силы раздражения. Иными словами, ЭМП указанных параметров как-то усиливало ответ мозга на элект-

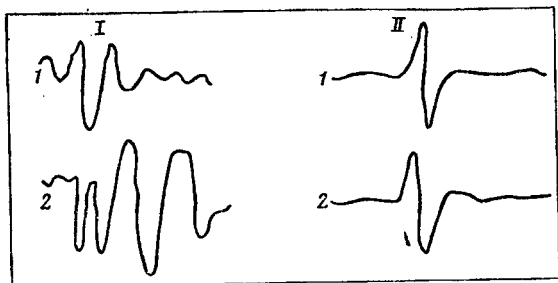


Рис. 16. Вызванный потенциал сенсомоторной коры больших полушарий мозга (I) крысы и потенциал действия икроножной мышцы (II) лягушки на электрическую стимуляцию седалищного нерва в фоне (I) и после 10—20-минутного воздействия постоянным магнитным полем с индукцией 400 мТ (2)

рическую стимуляцию нерва, тогда как на ответ мышцы то же поле влияния не оказывало.

Продолжая перечисление возможных механизмов действия ЭМП на мозг, следует обратить внимание на межцентральные отношения. Наиболее чувствительным к ЭМП многие исследователи считают гипоталамус, где сосредоточены высшие вегетативные центры (рис. 17). Но имеется мнение, что гиппокамп может брать на себя ведущую роль в организации реакции мозга на ЭМП. Конечно, важную роль в осуществлении этой реакции играет кора больших полушарий мозга и другие его ведущие отделы.

Иерархия межцентральных отношений в мозге при действии ЭМП меняется в зависимости от исходного функционального соотношения отдельных центров, а для детального анализа этого соотношения необходимо знать, что происходит на клеточном уровне.

Не разбирая подробно роль нейрона и глии в реакции мозга на ЭМП (чему посвящена отдельная глава), мы должны основное внимание уделить мембранным процессам, функция которых окончательно не выяснена.

Выдвигаемые гипотезы о молекулярных механизмах функционирования биологических мембран должны удовлетворять принципу реципрокности протекания в мембране сопряженных молекулярных процессов, что обуславливает совершенно необычные с позиций классических представлений конкурентные взаимоотношения поглощения Са и фосфорилирования АДФ, переноса электронов



и активации АТФазы в митохондриях, а в плазматических мембранах приводит к реципрокным соотношениям электрогенного натриевого насоса и аккумуляции  $K^+$ , активности холино- и адренорецепторов.

Этому требованию удовлетворяет гипотеза М. А. Шипло, согласно которой в мембране митохондрий происходит переход разности электрических потенциалов в скачок концентрации ионов водорода на границе раздела двух сред, который используется для синтеза АТФ (рис. 18). Система включает два основных элемента, работающих на основе электронно-колебательных взаимодействий, которые в соответствии с пространственно-зарядовой асимметрией мембраны, определяемой разностью рН по обе стороны и гидрофобными взаимодействиями белков и липидов, должны иметь положительную кооперативную связь  $\Delta pH$  с виброном, участвующим в синтезе АТФ, и отрицательную кооперативную связь с вибронным возбуждением, осуществляющим выброс  $H^+$  за пределы митохондрий и участвующим в транспорте кальция.

Из анализа модели вытекает важнейший вывод о том, что система, управляемая скачком концентрации протонов, не может быть системой с дипольными искажениями и должна обладать свойствами кристаллов, в которых параметром порядка служит деформация. Только в этом случае сброс протона по его электрохимическому градиенту может сопровождаться эффективной утилизацией энергии этого перехода в синтезе АТФ.

Если управление посредством изменения разности потенциалов вибронной неустойчивостью системы с диполь-

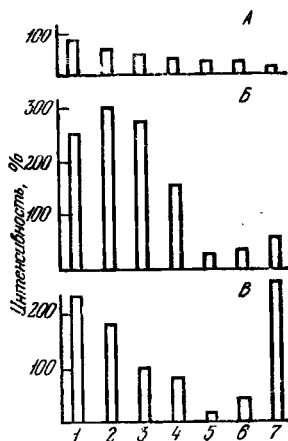


Рис. 17. Реакции разных отделов мозга кролика на ЭМП в норме (А), а также после введения кофеина (Б) или адреналина (В)

Ордината — интенсивность реакции (%);

- 1 — гипоталамус;
- 2 — сензомоторная кора;
- 3 — зрительная кора;
- 4 — специфические ядра таламуса;
- 5 — неспецифические ядра таламуса;
- 6 — гиппокамп;
- 7 — ретикулярная формация

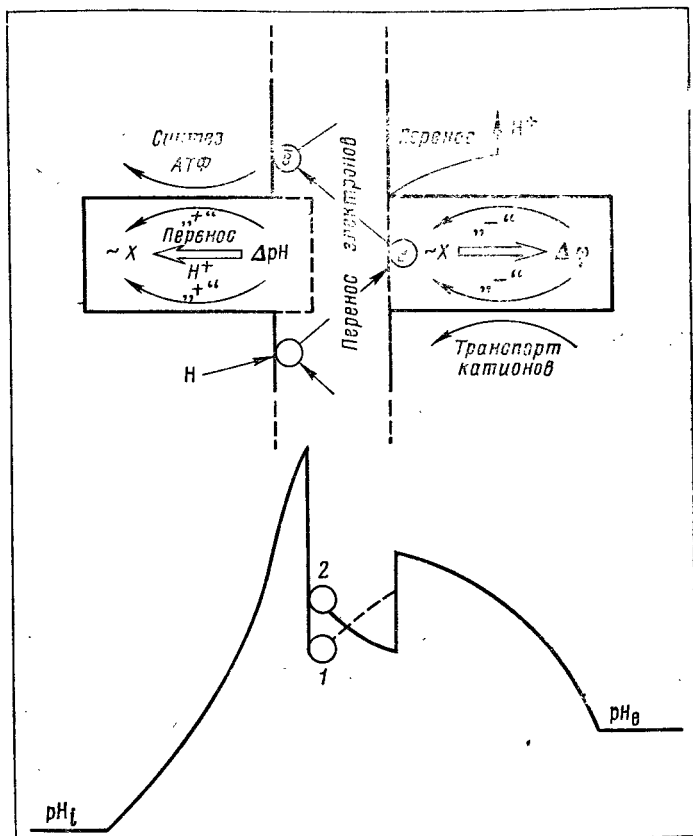


Рис. 18. Схема механизма биологического действия ЭМП

ным искажением является общепризнанным и физически ясным процессом, то управление посредством  $\Delta pH$  требует пояснения и доказательств.

Оно становится возможным лишь в том случае, если деформационная система стационарно находится в искаженном состоянии в результате химических гидрофобных взаимодействий. Быстрое появление скачка протонов на границе липид—белок нейтрализует гидрофобный градиент системы с деформационным искажением, что приводит к ее вибронному возбуждению, и протоны стекают по градиенту, участвуя в синтезе АТФ. Такой механизм обеспечивает суммацию в акте синтеза АТФ энергии де-

формационного искажения с энергией, выделяемой в ходе сбрасывания  $H^+$  по их электрохимическому градиенту. Ни одна равновесная искаженная ян-теллеровская система без механизма поддержания искаженной конфигурации не может обеспечить такой суммации двух вкладов при активации эндогонической химической реакции синтеза АТФ. Из этого вытекает фундаментальное значение гидрофобных взаимодействий в мембранах.

Исходя из изложенного, ограничение процессов перекисления липидов становится особо необходимым для нормального функционирования АТФ-синтетазы и любого другого механизма, построенного на использовании энергии деформационного искажения кооперативных электронно-колебательных систем.

Становится очевидным, что гипероксия может избирательно повреждать функционирование этих деформационных кооперативных систем ослаблением гидрофобных взаимодействий при усилении перекисного окисления липидов.

В рассматриваемой системе изменение пространственно-зарядовой асимметрии мембраны изменяет вклад деформационной и электрической составляющих в элементарный акт синтеза АТФ, но не изменяет стехиометрию: один квант вибронного возбуждения системы с деформационным искажением — один элементарный акт синтеза АТФ. Изменяется при этом лишь форма и высота потенциальных барьеров для туннелирования протона и время протекания элементарного акта синтеза АТФ.

Интересно, что изменение трансмембранной  $\Delta pH$  принципиально обращает пространственно-зарядово-временную симметрию системы с дипольными искажениями. Повышение  $pH$  закономерно приводит в такой системе к переключению от механизма поглощения  $K^+$  в обмен на  $H^+$  к механизму электронного переноса  $K^+$ , активируемого туннельным переносом электрона в данной структуре.

На этом мы закончим описание модели и покажем далее ее адекватность в описании эффектов ЭМП в митохондриях.

В рассматриваемой системе при воздействии ЭМП можно ожидать взаимодействия электрической составляющей с дипольной кооперативной системой мембран митохондрий. При этом ЭМП может инициировать ток деполаризации в сегнетоэлектрике, что должно активировать дыхательную цепь митохондрий и приводить в конечном

итоге к диссипации поглощенной энергии в тепло. Система поддержания асимметрии мембраны за счет окислительно-восстановительного потенциала должна быть при этом активирована, и после выключения поля должен остаться «след» от компенсации деэнергизирующего действия ЭМП.

Исследования показали, что в момент действия высокочастотного ЭМП происходит вибронное возбуждение дипольной кооперативной системы, осуществляющей сброс протона за пределы митохондрий. Поэтому после прекращения действия ЭМП можно ожидать появления неравновесного распределения зарядов на мембране (либо протонов, либо катионов), которое должно приводить к равновесию в ближайшем периоде последствия.

Как мы описывали ранее, ЭМП при действии на нервную систему может вызвать появление и развитие комплекса функциональных сдвигов. В основе этих сдвигов лежат разнообразные биофизические процессы, суть которых остается еще неизученной. Таких процессов одновременно происходит несколько, и мы не беремся здесь перечислять их все. Упомянем только, что МП могут индуцировать электрический ток (некоторые исследователи только этот механизм и признают), а поля СВЧ большой интенсивности могут вызывать нагревание (на чем основаны многие исследования в США). Воздействие ЭМП на возбудимые структуры можно связать с изменением калий-натриевого градиента в клетке за счет колебаний молекул воды, гидратирующих ионы и белковые молекулы, поверхностного слоя мембраны клетки.

Возможность влияния ЭМП на свойства водных растворов показана при техническом использовании так называемой магнитной обработки воды, в результате чего уменьшается осаждение на стенках котлов растворенных в ней солей, понижается смачиваемость поверхностей твердых тел, повышается скорость процессов сгущения суспензий, фильтрации, твердения цемента и т. д., а также изменяются ее биологические свойства.

ЭМП могут поляризовать боковые цепи белковой молекулы, вызывая разрывы водородных связей и изменяя зону гидратации молекул. Существует предположение, что сильные ПМП могут влиять на ориентацию макромолекул, в частности РНК и ДНК, и тем самым изменять биологические процессы. Увеличение активности ферментов трипсина и карбоксидисмутаза под влиянием ПМП

позволяет предполагать, что химические изменения играют важную роль в первичных механизмах действия ЭМП. Поглощение переменных полей может происходить за счет ионной проводимости среды, релаксационных колебаний дипольных молекул и резонансных процессов. ЭМП, таким образом, нарушает структуру водных систем, изменяет активность ферментов и влияет на проницаемость биологических мембран.

Первичная реакция биологической системы на разные ЭМП заключается, вероятно, в возникновении поляризации. Это представление согласуется с теорией П. П. Лазарева [1935], по которой ЭМП низкой частоты вызывает в тканях периферические движения ионов. Накопление заряженных ионов на границах фаз может вызвать обратимое выпадение коллоидов. Возможно, этот механизм связан с неспецифическим действием переменных ЭМП, тогда как тепловое действие сопровождается необратимыми изменениями в клетке.

Независимо от характера взаимоотношений между биологическими тканями и энергией переменных ЭМП эффект обусловлен явлениями поглощения. При высоких частотах ( $3 \cdot 10^{10}$  —  $3 \cdot 10^7$  Гц) основным механизмом поглощения являются изменения ионной проводимости. При понижении частоты до  $3 \cdot 10^5$  —  $3 \cdot 10^7$  Гц наблюдается максимум поглощения за счет релаксационных колебаний белковых молекул. При дальнейшем понижении частоты может возникнуть максимум поглощения за счет релаксационных колебаний полярных макромолекулярных комплексов.

Можно предполагать, что уже на клеточном уровне действие разных в физическом отношении ЭМП выражается в неспецифической реакции поляризации мембраны. При обсуждении механизма влияния ЭМП на нервную клетку выдвигалось предположение о действии этого фактора на переменные возбудимые зоны аксона и считалось, что конечный эффект можно объяснить умножением и суммацией очень малых биофизических явлений. Многочисленные данные показывают участие глиальных клеток в реакциях ЦНС на ЭМП. Скорее всего, на сегодняшнем этапе наших знаний следует говорить о влиянии ЭМП на глионейрональный комплекс, а это влияние реализуется в основном через изменение окислительных процессов.

Влияние ЭМП на возбудимые структуры сходно с действием анода постоянного тока. Оно не вызывало со-

кращения нервно-мышечного препарата, но изменяло хронаксию и снимало паралич. Сходным образом действовало поле УВЧ и ПМП.

Многие исследователи показывают, что ЭМП санти- и миллиметрового диапазонов волн способны вызвать как гипер-, так и деполяризацию наружной мембраны клеток. Вероятно, конечный эффект взаимодействия ЭМП с клеткой должен определяться типом клеток, их энергетическим обменом и его сопряженными связями с процессами активного транспорта и электрогенеза.

Важно, что как ПМП, так и ЭМП высоких частот способны вызывать в нервных и мышечных клетках однотипные генерализованные ответы в виде гипер- или деполяризации. Большинство исследователей относят эти изменения к влиянию ЭМП на процессы активного и пассивного транспорта в наружной мембране в связи с нарушением кооперативного связывания кальция на поверхности самой мембраны или в саркоплазматическом ретикулуме клетки. Важность кальциевого механизма действия ЭМП на нервную систему не вызывает сомнений.

Но несомненно перспективным является и привлечение представлений о едином механизме транспортных процессов на наружной клеточной мембране за счет сбрасывания протона по полю, формируемому за счет катионообменных свойств цитосола клетки и буферных свойств внешней среды. Тогда в трансмембранной разности потенциалов можно выделить две компоненты: стационарную, обусловленную свойствами внутриклеточного ионообменника (в том числе его емкостью) и значением pH внеклеточной среды, и метаболическую, обусловленную скоростью продукции протонов через АТФазные реакции и гликолитический путь окисления углеводов.

Исходя из этого при всех способах увеличения скорости продукции протонов в цитосоле клеток можно ожидать активацию электрогенного натриевого насоса, если последний не повреждается самим внешним возмущением. Тогда связь кальцевого обмена клетки с его процессами активного транспорта должна опосредоваться метаболическими реакциями клетки. Активация выброса протонов из митохондрий и усиление гликогенолиза под действием кальция являются известными феноменами. Тогда активацию электрогенного натриевого насоса можно рассматривать как закономерный процесс реакции

клетки на ЭМП возмущения, сопровождающееся нарушением кооперативного связывания кальция и активацией гликолитических процессов.

Получается, что ответ в виде гиперполяризации нервной клетки может быть получен за счет магнитной составляющей ЭМП, имеющей высокое сродство к митохондриям. Подавление функции последних закономерно приводит к активации гликолитических процессов и создает предпосылки для активации электрогенного натриевого насоса. Реакция нейрона на электрическую составляющую ЭМП, скорее всего, начинается с поверхности клетки в гликокаликсе. В реальных условиях две компоненты взаимодействия ЭМП могут суммироваться.

Модель взаимодействия процессов активного транспорта в наружной мембране с метаболическими реакциями клетки позволяет подойти к интерпретации возникновения колебательного процесса в системе наружная мембрана—цитосол клетки в виде периодических изменений скорости активного транспорта натрия и калия в наружной мембране и сопряженных реакций метаболического котла клетки.

Описываемый механизм колебательного процесса может обуславливать медленные колебания мембранного потенциала глиальных клеток и приводить в ряде нейронов к возникновению периодической спайковой активности, сопряженной с медленными колебаниями потенциала покоя наружной мембраны. Кажется вероятным, что подобные связи электрогенеза с метаболическими реакциями могут лежать в основе наблюдаемого после действия ЭМП преобладания в нервной системе медленных биоэлектрических потенциалов.

Изложенные представления не противоречат возможности первичного деполяризующего действия внешнего ЭМП на клетку, когда фаза гиперполяризации будет уменьшена или даже полностью отсутствовать. Конечный ответ клетки может зависеть от прямого действия ЭМП соответствующих интенсивностей на механизм натриевого насоса. Последнее наблюдается при действии ЭМП миллиметрового диапазона и не имеет места при действии слабых ПМП. С другой стороны, характер ответа должен зависеть от присущих той или иной клетке метаболических характеристик, определяемых как генетически, так и их текущим состоянием. Среди генетически обусловленных характеристик можно выделить максимальную ско-

рость продукции АТФ, максимальную скорость генерации протонов и восстановленных никотиновых коферментов, принимающих участие в регуляции активного транспорта потенциалобразующих ионов в наружной мембране.

В связи с этим особый интерес представляет анализ влияния ЭМП на нервные клетки различных типов и, в частности, нейроны и глию, их взаимодействие в норме и при действии поля.

С нейрофизиологической точки зрения оказалось неожиданным то обстоятельство, что глиальные клетки, которые многие считают электрически невозбудимыми, более интенсивно реагируют на ЭМП в сравнении с нейронами. Наиболее тривиальный механизм влияния МП, учитывающий ЭДС индукции, здесь отходит на задний план. Возможно, биохимические или структурные процессы на уровне некоторых клеточных или внутриклеточных мембран наиболее чувствительны к МП.

Важно подчеркнуть, что влияние ЭМП на ЦНС является неспецифическим. С другой стороны, это влияние не похоже на реакцию при адекватных раздражениях средней силы. Следовательно, ЭМП по праву может использоваться в нейрофизиологической лаборатории в качестве своеобразного раздражителя, который поможет изучить некоторые неясные свойства ЦНС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ЭМП являются фундаментальным фактором объективной действительности, и потому количество проблем, связанных с электромагнитной нейробиологией, может непрерывно возрастать. При разумном подходе к этой молодой отрасли знаний следует выделить основные направления исследований, которые определяются свойствами самих ЭМП или биообъектов, подвергающихся воздействию ЭМП.

Существующие ЭМП можно разделить на четыре разряда. Прежде всего нейрофизиологов должны интересовать естественные ЭМП, которые делятся на внешние (космического, геофизического или биологического происхождения) и внутренние, генерируемые различными структурными уровнями организма. Затем следуют искусственные ЭМП, которые в сравнении с геофизическими можно поделить на ослабленные и усиленные.



ЭМП любого происхождения являются сложным фактором среды, поддающимся расчленению на различные биотропные параметры. Необходимо выделять магнитную и электрическую составляющие, которые в чистом виде легко наблюдать в случае статических полей. Важную роль в биологическом эффекте играет интенсивность ЭМП.

Имеются сведения, что неоднородные ЭМП обладают более выраженным биологическим действием, чем однородные, а вертикальное направление силовых линий действует эффективнее горизонтального. Однако четкое количественное сопоставление биологического действия этих параметров ПМП еще не сделано. Экспозиция и локализация воздействия должны учитываться непременно. А при переходе к переменным ЭМП возникают дополнительные биотропные параметры в виде частоты, а также формы и длительности импульса.

Каждый экспериментатор должен знать, что когда он осуществляет очередное ЭМ-воздействие на выбранную им биологическую систему, то эта процедура происходит чаще всего не в экранированном от ЭМП пространстве.

Таблица 5

Типы электромагнитных воздействий на биологическую систему

| Происхождение     | Наука                     | Интенсивность ЭМП                        |
|-------------------|---------------------------|------------------------------------------|
| Космогенное       | Гелиобиология             | Слабая                                   |
| Биогенное         | Экология                  | Очень слабая                             |
| Антропогенное     | Гигиена                   | Средняя                                  |
| Экспериментальное | Электромагнитная биология | Уменьшение и усиление в широких пределах |

Следовательно, одновременно избранная биологическая система может подвергаться воздействию ЭМП антропогенного, биогенного или космогенного происхождения. Кроме того, на исследуемой биосистеме могут сказываться прошлые ЭМП-воздействия, реализуемые через прямые или косвенные механизмы. Таким образом, формы существования материи — пространство и время, — преломляясь через электромагнитные условия, могут властно вмешиваться в конкретный эксперимент. Но эти обстоятельства чаще всего не учитываются экспериментатором (табл.).

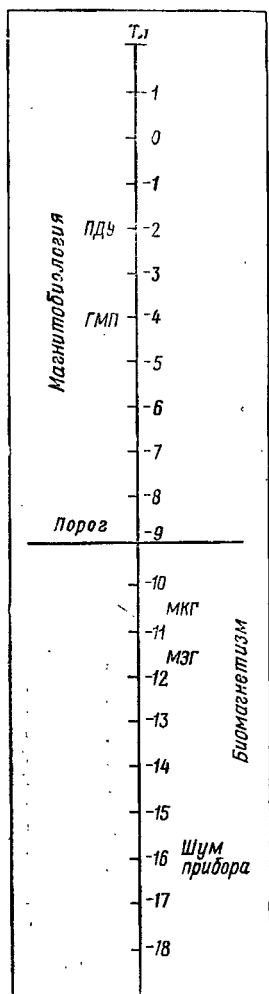


Рис. 19. Диапазон магнитных полей, исследуемых в магнитобиологии и в биомагнетизме

Объяснения в тексте

Не всегда учитываются и всевозможные биотропные параметры исследуемого электромагнитного воздействия, хотя они могут варьировать в широких пределах.

Для примера можно рассмотреть диапазон магнитных полей (по интенсивности), применяемых в электромагнитной биологии (рис. 19).

Видно, что биология рассматривает около 14 порядков индукции магнитного поля. Важным для классификации является тот рубеж (а он, скорее всего, разный), где магнитобиология переходит в биомагнетизм. В этом диапазоне встречаются внешние (по происхождению) магнитные поля с внутренними, генерируемыми самим организмом. Одной из основных задач является выявление функциональной роли таких биомагнитных полей.

Следует отметить, что начальные реакции организма на ЭМП отличаются своей неспецифичностью. Излагая материал, мы часто указывали на неспецифичность действия полей УВЧ, СВЧ и ПМП. Похожее действие на НС оказывают электрические поля промышленной частоты высокой напряженности, импульсное поле низкой частоты, ЭМП звукового и радиочастотного диапазона и поле ВЧ. Сходное влияние на электрическую активность головного мозга и на выработанные условные рефлексы могут оказывать раздражители и неэлектромагнитной природы.

Возможно, речь должна идти о неспецифической реакции ЦНС на слабый раздражитель. Защита организма от раздражений является, вероятно, не

менее важной задачей, чем восприятие раздражений, и при действии слабого раздражителя любой природы.

Говоря о тормозном процессе, преимущественно возникающем при действии ЭМП, мы не хотим поднимать всю сложную и многогранную проблему торможения, известную по трудам Н. Е. Введенского и И. П. Павлова и описанную во многих современных сводках и обзорах. Важно, что ЭМП часто вызывают процесс торможения, и на этом принципе даже предлагалось практическое использование этого фактора в виде методики «радиосна». О сноподобном действии ЭМП мы говорили ранее.

При анализе глио-нейрональных отношений была отмечена важная роль таких продуктов обмена, как  $\text{CO}_2$  и  $\text{NH}_3$ . Увеличение аммиака приводит к усилению процессов анаболизма, торможению и сонному состоянию, а увеличение количества углекислого газа — к усилению катаболизма, возбуждению и бодрому состоянию. В связи с этим интересно заметить, что воздействие ПМП 50 мТл на белых крыс сопровождается увеличением количества аммиака в головном мозгу. Таким образом, не только поведенческие и электрофизиологические данные свидетельствуют о возникновении процесса торможения в ЦНС, но и биохимические исследования приводят к такому же выводу.

Является существенным то обстоятельство, что в наших экспериментах торможение часто возникало раньше, чем возбуждение. Оказывается, эта особенность реакции характеризует не только действие проникающих факторов. Видимо, это общий чрезвычайно важный принцип организации нервных процессов.

Следует заметить, что ЭМП не обязательно вызывает тормозное состояние. В опытах на лягушках было обнаружено, что на фоне повышенной чувствительности кожи лапки к кислоте МП ее снижает, а на фоне пониженной — повышает. Возникновение основных нервных процессов можно было получить даже одновременно. Венгерские исследователи у крыс регистрировали вызванный потенциал (ВП) в сенсомоторной области коры больших полушарий в ответ на электрическое раздражение седлищного нерва. Пятиминутное воздействие ПМП индукцией 80 мТ приводило к уменьшению амплитуды ВП в области наилучшего его проявления. В окружающих областях наблюдали обратное явление — увеличение амплитуды ВП. Можно предполагать, что в области фокуса

ВП было иное функциональное состояние НС, чем на периферии.

Таким образом, результат воздействия поля зависит от исходного функционального состояния ЦНС. Однако при обычных экспериментальных условиях мы чаще наблюдали тормозное действие ЭМП. Условные рефлексy и чувствительность к различным раздражителям при действии ЭМП чаще понижались, чем повышались. Только в опытах с записью двигательной активности мы видели преобладание возбуждательного процесса при действии поля. Но при выработке условных рефлексов на МП у рыб тормозные рефлексy (условный тормоз) вырабатывались намного лучше, чем положительные, а при записи электрической активности коры головного мозга во время действия поля наблюдалось увеличение числа веретен и медленных волн, которые появляются также при сонном состоянии животного.

Скорее всего, в естественных условиях для животных пороговыми являются изменения напряженности ГМП, а то, что мы получили в экспериментах, может служить более или менее удачной моделью естественных процессов.

Оказалось, что препарат изолированного мозга, получаемый после перерезки на уровне среднего мозга, реагирует на ЭМП более часто, с меньшим латентным периодом и более интенсивно (иногда в ответ на воздействие возникали судорожные разряды), чем интактный мозг. ЭЭГ-реакция заключалась в увеличении числа медленных волн, веретен и судорожных разрядов.

Оставалось неясным, реагирует ли на ЭМП целостная структура переднего мозга или любой участок мозговой ткани. Для ответа на этот вопрос были проведены опыты на нейронально изолированной полоске коры больших полушарий мозга кролика.

ЭКоГ-реакция на МП чаще выражалась в увеличении электрической активности. Эта реакция характеризовалась малым латентным периодом в сравнении с интактным мозгом и препаратом изолированного мозга, хотя по степени прочности ЭКоГ-реакция полоски на ЭМП была близка к ЭЭГ-реакции интактного мозга. Реакция полоски на МП не зависела от места изоляции.

Записи импульсной активности нейронов в изолированной полоске коры подтвердили данные, полученные с помощью макроэлектродов, о существовании электриче-

ской активности нейронов в нейронально изолированных структурах и о большей реактивности полоски к МП в сравнении с целостным мозгом. Однако изолированный участок коры сохранял гуморальную связь с другими отделами головного мозга, которые также подвергались воздействию ПМП. Для изучения непосредственной реакции коры кроликам к кости над сенсомоторной областью прикрепляли стиракрилом на 2—40 сут миниатюрные постоянные магниты с индукцией МП у поверхности полюса до 20 мТл.

Оказалось, что ЭЭГ участка, находящегося вблизи от магнита, отличалась от ЭЭГ других участков преобладанием медленных высокоамплитудных колебаний. Таким образом, локальное и длительное воздействие МП может вызвать местные изменения в электрической активности коры больших полушарий.

Наибольшая реактивность на ЭМП свойственна коре больших полушарий и промежуточному мозгу. У тех животных, у которых кора не развита (рыбы), наиболее реактивным является промежуточный мозг (особенно гипоталамус).

Изучение реакций НС на воздействие микроволн ведется наиболее интенсивно. При этом воздействии и рефлекторный, и непосредственный путь влияния на ЦНС имеет место. Давний спор о существовании нетеплового воздействия микроволн снимается достаточно широким подходом к различным диапазонам ЭМП. Однако при использовании ЭМП в пределах СВЧ-диапазона этот спор еще не закончился. Наблюдаемое в 70-х годах увеличение числа публикаций по влиянию поля СВЧ на НС позволяет надеяться, что в предстоящие годы наши знания в этой области нейрофизиологии необычайно расширятся.

Условные рефлексy на ЭМП по прочности значительно уступали световым и звуковым условным рефлексам. Возможно, что естественные ЭМП являются теми сигналами, которые определяют многие ритмические процессы организма.

Таким образом, применение ЭМП в нейрофизиологических исследованиях может помочь не только решению актуальных практических задач, связанных с гигиенической оценкой этого фактора на различных производствах, с его терапевтическим действием, с его диагностической ценностью и т. д., но и развить теоретические вопросы нейрофизиологии.

- Акоев И. Г. Современные проблемы радиобиологии электромагнитных излучений радиочастотного диапазона.— Радиобиология, 1980, т. 20, № 1, с. 3—8.
- Андреанова Л. А., Смирнова Н. П. Двигательная активность мышей в магнитном поле разной напряженности.— Космич. биология и авиакосмич. медицина, 1977, т. 11, № 1, с. 54—58.
- Антипов В. В. и др. Биологическое действие электромагнитных излучений микроволнового диапазона.— В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1980, т. 40. 222 с.
- Бреслер С. Е., Бреслер В. М. и др. Влияние сильных магнитных полей на активный транспорт в хорионидном сплетении.— Докл. АН СССР, 1978, т. 242, № 2, с. 465—468.
- Биологические эффекты электромагнитной энергии и медицина.— ТИИЭР, 1980, т. 68, № 1.
- Броун Г. Р., Ильинский О. Б., Муравейко В. М. Восприятие магнитного поля рецепторами ампул Лоренцини черноморских скастов.— Физиол. журн. СССР, 1977, т. 63, № 2, с. 232—238.
- Введение в электромагнитную биологию. Томск, 1979.
- Вернадский В. И. Биосфера. Л.: Науч.-техн. изд-во, 1926.
- Вильямсон С., Кауфман Л., Бреннер Д. Биомagnetизм.— В кн.: Слабая сверхпроводимость: Квантовые интерферометры и их применения. М.: Мир, 1980, с. 197—242.
- Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, 1971.
- Гаркави Л. Х., Квакина Е. Б., Уколова М. А. Адаптационные реакции и резистентность организма. Ростов н/Д, 1979.
- Гордон З. В. Вопросы гигиены труда и биологического действия электромагнитных полей сверхвысоких частот. М.: Медицина, 1966.
- Гуляев П. И. и др. Ауральное поле в свете развития представлений А. А. Ухтомского о роли биологических электромагнитных полей.— В кн.: Механизмы нервной деятельности. Л., 1977, с. 127.
- Данилевский В. Я. Исследования над физиологическим действием электричества на расстоянии.— Харьков, 1900, т. 1; 1901, т. 2.
- Дубров А. П. Геомагнитное поле и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1974.
- Думанский Ю. Д., Сердюк А. М., Лось Н. П. Влияние электромагнитных полей радиочастот на человека. Киев: Здоров'я, 1975.
- Думбадзе С. И., Бобров А. В. и др. Влияние постоянного магнитного поля на медленный отрицательный потенциал.— Сообщ. АН ГССР, 1980, т. 98, № 2, с. 409—413.
- Евтушенко Г. И. и др. Влияние импульсных электромагнитных полей низкой частоты на организм. Киев: Здоров'я, 1978.

- Живые системы в электромагнитных полях.** Томск, 1978.
- Живые системы в электромагнитных полях.** Томск, 1979.
- Лазарович В. Г.* Влияние электромагнитных полей на обмен веществ в организме. Львов: Вища школа, 1978.
- Лапин В. И.* Вызванная электрическая активность головного мозга под влиянием местного и общего воздействия ЭМП СВЧ: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Ставрополь, 1970.
- Иванов-Муромский К. А.* Электромагнитная биология. Киев: Наукова думка, 1977. 156 с.
- Ирьянов Ю. М.* Влияние магнитных полей на нервную ткань: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Пермь, 1971.
- Казначеев В. П., Михайлова Л. П.* Сверхслабые излучения в межклеточных взаимодействиях. Новосибирск: Наука, 1981, с. 144.
- Кикун Р. П.* Использование магнитобиологических эффектов в лечении артериальных аневризм сосудов головного мозга: Автореф. дис. ...д-ра мед. наук. М., 1977.
- Классен В. И.* Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1978. 240 с.
- Копанев В. И., Ефименко Г. Д., Шакула А. В.* О биологическом действии на организм гипомангнитной среды.— Изв. АН СССР. Сер. биол., 1979, № 3, с. 342—353.
- Краюхин Б. В.* Возможна ли электроиндукция в тканях живого организма.— В кн.: Сборник, посвященный памяти А. В. Леонтовича. Киев: Изд-во АН УССР, 1948.
- Кулин Е. Т.* Биоэлектретный эффект. Минск: Наука и техника, 1980. 216 с.
- Ливанов М. Н.* и др. Регистрация магнитных полей человека.— Докл. АН СССР, 1978, т. 238, № 1, с. 253—256.
- Михайлова-Лукашева В. Д.* и др. К исследованию слабых перепадов электромагнитных полей на человека.— Докл. АН БССР, 1972, т. 16, № 12, с. 1147.
- Нахильницкая З. Н.* и др. Магнитное поле и жизнедеятельность организмов.— В кн.: Проблемы космической биологии. М., 1978, т. 37. 268 с.
- Пресман А. С.* Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 288 с.
- Путхофф П., Тарг У.* Дальняя связь между биообъектами.— ТИИЭР, 1976, т. 64, № 3, с. 36—65.
- Реакции биологических систем на магнитные поля.** М.: Наука, 1978. 216 с.
- Рысканов Т.* Некоторые реакции нервной системы экспериментальных животных на неоднородное постоянное магнитное поле разной индукции (в норме и при высотной гипоксии): Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Ашхабад, 1980.
- Сердюк А. М.* Взаимодействие организма с электромагнитными полями как с фактором окружающей среды. Киев: Наукова думка, 1977. 228 с.
- Сперанский А. П.* и др. Действие магнитного поля относительно небольшой напряженности на центральную нервную систему по данным нейроиммунных реакций.— Науч. тр. Центр. ин-та усовершенств. врачей, 1976, т. 200, с. 56—72.
- Савин Б. М., Рубцова Н. Б.* Влияние радиоволновых излучений на центральную нервную систему.— В кн.: Итоги науки и техники. Сер. Физиология человека и животных. М., 1978, т. 22, с. 68—111.

- Судаков К. В.* Модулированное электромагнитное поле как фактор избирательного воздействия на механизм целенаправленного поведения животных.— Журн. высш. перв. деятельности, 1976, т. 26, вып. 5, с. 899—915.
- Торнцев Ю. В.* К вопросу об электростатическом поле человека.— Физиология человека, 1980, т. 6, № 1, с. 148.
- Травкин М. П.* Жизнь и магнитное поле. Белгород, 1971.
- Хведелидзе М. А.* и др. О биоэлектромагнитном поле.— В кн.: Бионика. М.: Наука, 1965, с. 305—314.
- Холодов Ю. А.* Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. М.: Наука, 1966. 284 с.
- Холодов Ю. А.* Магнетизм в биологии. М.: Наука, 1970. 96 с.
- Холодов Ю. А.* Человек в магнитной паутине. М.: Знание, 1972. 144 с.
- Холодов Ю. А.* Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975. 208 с.
- Холодов Ю. А., Шишло М. А.* Электромагнитные поля в нейрофизиологии. М.: Наука, 1979. 168 с.
- Чижевский А. Л.* Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1973. 352 с.
- Эрназаров И.* Морфологические изменения в нейронах гиппокампа крыс при воздействии магнитными полями: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Ташкент, 1979.
- Яковлева М. И.* Физиологические механизмы действия электромагнитных полей. Л.: Медицина, 1973. 176 с.
- Adey W. R., Bawin S. M.* Brain interactions with weak electric and magnetic fields.— Neurosci. Res. Program Bull., 1977, vol. 15, N 1.
- Barnothy M. F. (Ed.).* Biological effects of magnetic fields. N. Y.: Plenum Press, 1964, Vol. 1; 1969, Vol. 2.
- Brodeur P.* The zapping of America. W. W. Norton and Col. N. Y.: 1977.
- Gerisch W., Becker G.* Geomagnetobiologisch bedingter Zusammenhang zwischen der Frabaktivität von Termiten und der Zahl der Sterbefälle.— Bundesast. Materialprüf., 1979, Bd. 62. 30 S.
- Lin J. C.* Microwave auditory effects and applications. Chares C. Thomas Publ., 1977.
- Ossenkopp K.-P., Barbeito R.* Bird orientation and the geomagnetic field: A review.— Neurosci., Biobehav. Rev., 1978, vol. 2, p. 255—270.
- Persinger M. A. (Ed.).* ELF and VLE electromagnetic field effects / N. Y.: Plenum, 1974, p. 316.
- Radio Science, 1977, vol. 12, N 6S; 1979, vol. 14, N 6S.
- Sheppard A. R., Eisenbud M.* Biological effects of electric and magnetic fields of extremely low frequency. N. Y. Univ. Press., 1977.



# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Введение . . . . .                                                             | 3   |
| Глава 1. История электромагнитной нейрологии . .                               | 6   |
| Глава 2. Сенсорная индикация . . . . .                                         | 21  |
| Глава 3. Есть ли электромагнитная болезнь? . . .                               | 34  |
| Глава 4. Терапевтическое действие . . . . .                                    | 39  |
| Глава 5. Экологическое значение геофизических электромагнитных полей . . . . . | 43  |
| Глава 6. Электромагнитные поля меняют поведение                                | 50  |
| Глава 7. Непосредственное действие электромагнитных полей на мозг . . . . .    | 59  |
| Глава 8. Нейрон или глия? . . . . .                                            | 74  |
| Глава 9. Мембраны и биохимия . . . . .                                         | 83  |
| Глава 10. Собственные электромагнитные поля мозга                              | 88  |
| Глава 11. Таинственные явления . . . . .                                       | 98  |
| Глава 12. Возможные механизмы . . . . .                                        | 102 |
| Заключение . . . . .                                                           | 112 |
| Литература . . . . .                                                           | 118 |

Юрий Андреевич Холодов

## МОЗГ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Утверждено к печати Редакцией серии научно-популярных изданий  
АН СССР

Редактор издательства Е. А. Колпакова. Художник В. П. Хлебников  
Художественный редактор Н. А. Фильчагина. Технический редактор  
Н. Н. Плохова. Корректоры Г. Г. Петрова-Явловская, Л. П. Стрельчук

ИБ № 21559

Сдано в набор 16.09.81. Подписано к печати 18.12.81. Т-24081.  
Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага типографская № 2. Гарнитура обыкновенная.  
Печать высокая. Усл. печ. л. 6,3 Усл. кр. отт. 6,6. Уч.-изд. л. 6,8.  
Тираж 75000 экз. Тип. зак. 889. Цена 40 к.

Издательство «Наука», 117864 ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90  
2-я тип. издательства «Наука». 121099 Москва, Г-99, Шубинский пер., 10