

УДК 612.014.426.8

РЕАКЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА НА ПЕРИФЕРИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН

Н.Н.Лебедева

ВВЕДЕНИЕ

Исследования, проведенные на молекулярном, клеточном, органном уровнях, показали, что живые системы, независимо от уровня их организации, чувствительны к действию миллиметровых волн нетепловой интенсивности, при этом существуют общие закономерности биологических эффектов как для микроорганизмов, растений, так и для млекопитающих [1,2].

Изучая влияние мм-волн нетепловой интенсивности человека и животных, следует иметь в виду, что это излучение практически полностью поглощается в поверхностных слоях кожи (главным образом, в эпидермисе) [3,4]. Поэтому можно предположить, что существенные для организма первичные эффекты взаимодействия мм-волн с биологическими структурами происходят в коже. Масса кожи составляет 20% от общей массы тела человека и принимает участие в обеспечении защитных, иммунных, рецепторных, терморегуляционных функций организма, и в связи с этим содержит большое количество различных элементов: клеток, волокон, рецепторов, желез, сосудов и пр. [5]. Экспериментально показано, что под влиянием мм-излучения изменения происходят во всех структурных элементах кожи. Так, гистологическим методом обнаружено, что в коже облучаемых животных наблюдается гиперемия сосудов микроциркуляции, диоперез эритроцитов, дегрануляция тучных клеток [6]. Высокая чувствительность к мм-волнам была выявлена на препарате мочевого пузыря лягушки и у механорецепторов, которые представляют наиболее распространенный тип чувствительных образований, проницаемых для мм-излучения слоев кожи человека и животных [7], а также на примере механорецепторов бабочки [8].

Установлено, что мм-воздействие на кожную поверхность области операции стимулирует регенерационные процессы в нерве. Наблюдалось ускорение роста нервных волокон в процессе их миелинизации, а также изменение физиологических характеристик нервного волокна [9].

Н.Н.Лебедева

3

Мм-волны могут оказывать непосредственное воздействие не только на элементы кожи и отдельные нервные волокна, но и на нейроны обнаженной коры головного мозга [10]. При этом паттерн реакции был сходен с известными в сенсорной физиологии ответами на внешний стимул, а сама реакция отмечалась как на включение, так и на выключение поля.

Воздействие мм-излучения на очаги возбуждения, созданные аппликацией растворов стрихнина и пенициллина в коре ненаркотизированных кошек, подавляло суммарную нейронную активность, что свидетельствует о противосудорожном эффекте мм-волн [11]. Однако наиболее выраженное действие наблюдалось в условиях нембуталового наркоза [12], когда противосудорожное действие отмечалось на моделях как одиночного эпилептического очага, так и многоочагового комплекса, кроме того, отсутствовало восстановление активности одиночных очагов после прекращения воздействия.

При изучении опосредованного действия мм-излучения на целостный организм животных выявлено изменение их поведенческих реакций. Так, в работе [13] было показано, что КВЧ поле с длиной волны 7,1 мм способно модифицировать при облучении затылка условнорефлекторную деятельность крыс, что проявлялось в ускорении переделки ранее выработанного условного пищевого рефлекса и замедляло возникновение нарушений в условно-оборонительных рефлексах.

О чувствительности нервной системы к действию мм-волн свидетельствуют косвенные данные: эффективность применения мм-терапии при депрессивных состояниях [14], нормализация функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС) при мм-терапии различных заболеваний [15 и др.]. При мм-воздействии в клинических условиях отмечалась нормализация показателей ЭЭГ — снижение мощности медленноволнового компонента и восстановление нарушенных межзональных различий [16].

Все вышесказанное определило задачи нашей работы — изучение влияния низкоинтенсивного мм-воздействия на ЦНС здорового человека при периферическом воздействии.

Выбор периферического воздействия (а не общего) также определялся рядом причин: во-первых, желанием получить ответ на вопрос — могут ли такие слабые, неспецифические стимулы, как низкоинтенсивные электромагнитные поля (ЭМП), вызвать ответ в центральных отделах нервной системы; во-вторых, тем, что при мм-терапии используется, главным образом, рефлекторное воздействие (зоны Захарьина-Гедда, биологически активные точки); в-третьих, при гигиеническом нормировании специалисты на производстве чаще сталкиваются с ситуацией, когда в зону действия ЭМП попадают руки работающих.

СЕНСОРНЫЕ РЕАКЦИИ НА РАЗЛИЧНЫЕ ЭМП ПРИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Несмотря на отдельные публикации [17, 18] долгое время было распространено мнение, что биологическое действие ЭМП реализуется у человека на субсенсорном уровне. Однако в последние годы наблюдается интерес к сенсорной индикации в виде "радиоозвука", магнитофосфена или кожных ощущений. В 70-х годах прошлого века обнаружили, что переменное магнитное поле (МП), действующее на голову субъекта, может вызывать у него ощущение вспышек света, т.е. магнитофосфен. Наилучшие ощущения магнитофосфена возникали при частоте 10–20 Гц с индукцией 20 мТл [19]. В 80-х годах прошлого века стали описывать ощущения у людей при воздействии постоянным магнитом на кожную поверхность в виде покалываний, зуда, тяжести [17]. В 50-х годах нашего столетия обнаружили, что радиоволны, модулированные звуковой частотой, могут ощущаться в виде свиста, жужжания или шелканья. Предполагали, что ощущение вызывается или непосредственно действием ЭМП на ткань мозга, или через возбуждение улитки уха посредством механических перемещений, вызванных ЭМП [20]. В 1976 году Ю.А.Холодовым был предложен метод сенсорной индикации МП. Модификацию этого психофизического метода мы и применяли в наших экспериментах, изучая кожные ощущения, возникающие при воздействии поля.



Рис. 1: Схема экспериментальной установки.

Была создана экспериментальная установка для изучения сенсорной реакции в автоматизированных опытах с учетом требований современного психофизического исследования (рис.1). Основным узлом установки

является программирующее управляющее устройство, которое производит дозированную во времени подачу ЭМП сигналов, а также осуществляет ложные предъявления. ЭМП сигналы подаются в случайном порядке с равномерным распределением. Одновременно с управляющим воздействием испытуемому через динамики подаются звуковые сигналы начала (1 щелчок) и конца (2 щелчка) предъявления, а с выхода 3 — начало и конец каждого воздействия в соответствующем кодовом изображении для разных видов сигналов записывается на магнитный носитель. Таким образом, ни испытуемый, ни экспериментатор не знали, какой сигнал в каждый данный момент подавался. Испытуемый в момент опущения нажимал кнопку К, сигнал от которой подавался на другой канал магнитного носителя, что позволяло фиксировать величину латентного периода реакции $T_{\text{лат}}$. Время предъявления ЭМП сигнала или пустой пробы — 1 минута, интервал между пробами также составлял около 1 минуты. Если испытуемый распознавал поле раньше минуты, то нажатием на кнопку К он прекращал подачу ЭМП. После этого испытуемый давал словесный отчет о возникших ощущениях.

Для оценки ЭМ чувствительности использовали показатели прочности реакции — ПрР (отношение числа правильно распознанных проб к общему числу ЭМП сигналов) и уровня ложных тревог — УрЛТ (отношение числа утвердительных ответов к общему числу пустых проб). Кроме этого, испытуемые оценивали наличие или отсутствие поля в пробе по 4-м категориям. Эти результаты были необходимы для построения рабочих характеристик приемника (РХП) — зависимости вероятности распознавания от вероятности появления ложных тревог. При анализе $T_{\text{лат}}$ строили суммарные гистограммы истинных реакций и ложных тревог.

В экспериментах участвовали 40 практически здоровых испытуемых обоего пола в возрасте от 17 до 35 лет. Испытуемый располагался в звукоизолированной экранированной экспериментальной камере. Воздействие осуществляли попеременно на кисть правой или левой рук. С каждым испытуемым было проведено по 10 опытов, т.е. было дано в общей сложности по 200 предъявлений.

Первичные данные обрабатывались на ЭВМ РС-Amstrad по программам Statgraph с использованием непараметрических критериев оценки достоверности различий (знаковый критерий для парных выборок и критерий Манна-Уитни), а также t — критерия Стьюдента для альтернативной изменчивости.

Для контроля физиологического состояния перед опытом и после измеряли артериальное давление и частоту пульса.

Для изучения электромагнитной чувствительности человека в ЭМП КВЧ использовали специальный генератор на диоде Ганна с частотой 37,7 ГГц (длина волны — 8 мм), падающая мощность на раскрытые рупора 15 мВт/см², а также терапевтические аппараты "Явь-1" с частотой

42,25 ГГц (длина волны 7,1 мм), частотой 53,57 ГГц (длина волны 5,6 мм) с падающей мощностью на конце гибкого диэлектрического волновода 5 мВт/см² и аппарат "Шлем" с центральной частотой излучения 42,2 ГГц и полосой одновременно излучаемых частот 200 МГц, с падающей мощностью на раскрыве рупора 10 мВт/см². Во всех сериях полем воздействовали на правую и левую руку на тыльную сторону кисти в области биологически активной точки ХЭ-ГУ (4 Gi).

Сводные данные приведены в таблице.

Таблица

Серия	Частота ЭМП	Число испытуемых	Прочность реакции, %	Уровень ложных тревог, %
I	37.7 ГГц	I гр - 3 чел	67.7±6.4	35.6±9.3
		II гр - 7 чел	53.5±4.9	51.3±8.6
II	42.25 ГГц ("Явь-1")	I гр - 8 чел	64.3±10.5	20.6±11.2
		II гр - 2 чел	59.0±14.2	43.5±16.2
III	42.2 ГГц±200 МГц ("Шлем")	I гр - 5 чел	63.0±10.5	45.5±10.0
		II гр - 5 чел	44.0±3.3	45.3±13.6
IV	53.57 ГГц ("Явь-1")	I гр - 7 чел	69.1±8.7	31.4±7.1
		II гр - 3 чел	49.8±9.7	48.8±11.2

Из таблицы можно видеть, что наибольшее число испытуемых из группы хорошо распознает ЭМП КВЧ диапазона "терапевтических" длин волн — 7,1 и 5,6, создаваемых аппаратами "Явь-1". Хуже всего распознается КВЧ сигнал с длиной волны 8 мм (37,7 ГГц).

Анализ латентных периодов свидетельствует о том, что при восприятии ЭМП мм-диапазона не происходит разделение испытуемых на группы по времени реакций, как в случае с магнитными полями инфранизкой частоты (МП ИНЧ) [21] — практически ни в одной серии нет ни "коротколатентных", ни "среднелатентных" испытуемых. Гистограммы распределения $T_{лат}$ — мономодальна. Среднее значение латентного периода составило $46,1±5,8$ с (рис.2).

По модальности ощущений преобладали реакции типа давления (46,7%), покалывания (36,3%), зуда (8,9%), термальные (5,3%), прочие ощущения (2,8%). Все ощущения локализовались, главным образом, в области ладони.

С целью выяснения существования сенсорной асимметрии при действии такого неспецифического раздражителя как ЭМП поле в опытах подавалось попеременно на левую и на правую руки. С использованием

тестов на моторную и сенсорную асимметрию — переплетение пальцев "поза Наполеона", аплодирование, проба Розенбаха, тест "тиканье часов" — было выявлено, что среди испытуемых два амбидекстра, трое — левшей, остальные — правши. В экспериментах амбидекстры (все они оказались хорошо распознающимися) различали поле при подаче как на левую, так и на правую руки. Остальные испытуемые достоверно отличали ЭМП от пустых проб неведущей рукой (левши — правой, правши — левой) (рис.3).

Во всех сериях у испытуемых проводили замеры электрического и болевого порогов. Отмечено, что у хорошо распознающих ЭМП испытуемых эти пороги ниже (7,6–13,6 В и 12,1–27,3 В соответственно) при длительности импульса 5 мс и частоте 1 Гц, чем у плохо распознающих (13,6–18,2 В и 27,3–36,4 В). У двух испытуемых, которые поле не распознавали совсем, пороги составили: электрический — 36,4, болевой — более 45,5 В.

Анализ данных физиологического контроля свидетельствует о том, что после опытов в 43,3% случаев наблюдалось незначительное повышение частоты пульса, в 40,0% — его незначительное снижение, в 16,7% — изменений не было; пульсовое давление в 56,7% — снижалось, в 16,7% — имело тенденцию к повышению, в 26,6% случаев изменений не было.

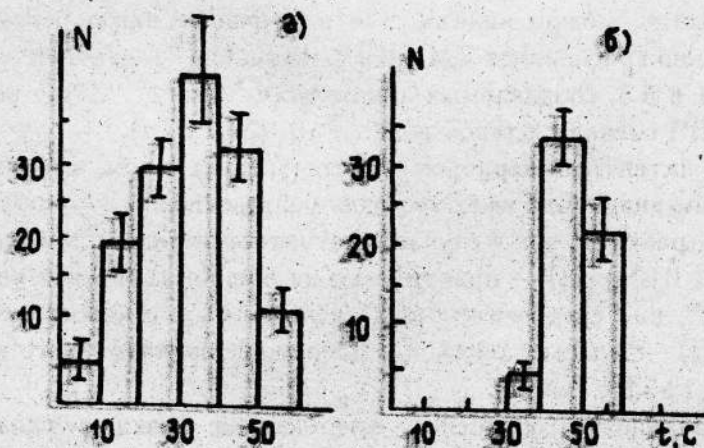


Рис. 2: Гистограммы распределения латентных периодов $T_{лат}$ при сенсорной индикации МП ИНЧ (а) и КВЧ излучением (б).

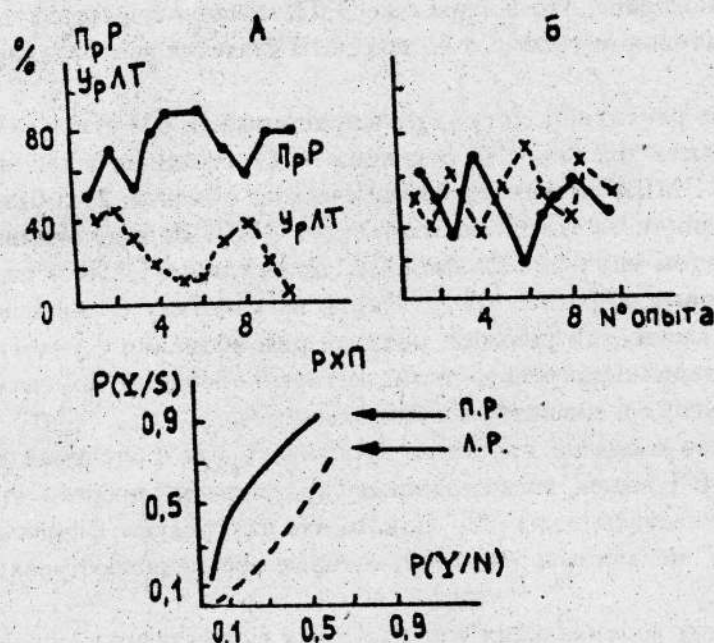


Рис. 3: Динамика показателей P прочности реакции PrP и уровня ложных тревог $UrLT$, а также RHP у испытуемого — левши при сенсорной индикации правой (А) и левой (Б) руками.

Основные выводы из анализа результатов по исследованию ЭМ чувствительности человека состоят в следующем.

1. Человек способен достоверно различать ЭМ сигналы от пустых проб.
2. ЭМ чувствительность человека, кроме его индивидуальных особенностей, определяется биотропными параметрами поля — частотой, формой импульса, экспозицией, локализацией.
3. Модальность возникших ощущений (давление, покалывание, прикосновение, "мурашки", жжение) свидетельствует об участии в рецепции ЭМП кожного анализатора.
4. Латентный период реакции на ЭМП в среднем составил десятки секунд (20–60 с).
5. Выявлена асимметрия восприятия ЭМП в зависимости от того, на какую руку (правую или левую) осуществлялось воздействие.

Полученные результаты представляются весьма интересными по трем причинам. Во-первых, у человека не обнаружено специфического рецепторного аппарата для восприятия ЭМП; во-вторых, такие большие латентные периоды не характерны для известных сенсорных систем, где

они обычно составляют сотни мс; в-третьих, многие годы у ученых существовало убеждение, что восприятие ЭМП может осуществляться только на подсознательном уровне, т.е. что ЭМП является неосознаваемым раздражителем.

Какие же рецепторы могут стать приемниками ЭМ стимула? Видимо, стоит выделить два элемента рецепции — 1) механизм первичного взаимодействия ЭМП с веществом биологического объекта; 2) собственно механизм рецепции биологическим объектом ЭМП. Первый механизм является предметом изучения биофизиков. Даже слабые ЭМП через магнитные и спиновые эффекты могут влиять на кинетику (направленности и скорость) химических реакций, реакций рекомбинации с участием радикалов с неспаренными электронами, которые обладают моментами количества движения и магнитными моментами.

Еще более сложные процессы происходят при облучении поверхности кожи КВЧ полем, когда главным "приемником" энергии становятся свободные молекулы воды [22]. Однако нас интересуют физиологические "вторичные" механизмы рецепции, которые обеспечивают реакцию ЦНС на ЭМП.

По анализу возникающих у испытуемых субъективных ощущений это могут быть или механорецепторы, или болевые рецепторы, или свободные нервные окончания — немиелинизированные афферентные волокна без корпускулярных структур на конце.

Такая модальность как механорецепция, или тактильная чувствительность объединяет четыре качества: ощущения прикосновения, давления, вибрации, шекотания.

Из сенсорной физиологии известны следующие виды механорецепторов: очень быстро адаптирующиеся — тельца Пачини; быстроадаптирующиеся — тельца Мейснера и рецепторы волосного фолликула и медленно адаптирующиеся — тактильные диски, диски Маркеля, окончания Руффини. Видимо, не стоит рассматривать быстроадаптирующиеся механорецепторы — тельца Мейснера и рецепторы волосного фолликула, поскольку разряд в них прекращается через 50–100 мс после включения адекватного стимула, а для рецепции таких неспецифических и слабых стимулов, какими являются низкоинтенсивные ЭМП, нужны либо медленно адаптирующиеся рецепторы, либо рецепторы с фоновой активностью, а лучше — то и другое вместе. Из механорецепторов такими могут быть только окончания Руффини, тактильные диски, диски Маркеля.

Механорецепторы с немиелинизированными афферентными волокнами чувствительны к слабым прикосновениям. Их скорость проведения в 50 раз меньше, чем у афферентных волокон других рецепторов. Предполагается, что механорецепторы без корпускулярных структур являются пороговыми датчиками, сигнализирующими лишь о появлении стимула.

Кроме того, у целого ряда свободных нервных окончаний рецепторные

функции пока неясны.

Болевые рецепторы (ноцицепторы) кожи представляют собой свободные нервные окончания с тонкими миелинизированными или немиелинизированными нервными волокнами. Предположение о том, что ноцицепторы могут осуществлять рецепцию ЭМ сигнала основывается на следующем: полиспецифичность по отношению к стимулам; модальность ощущений — покалывание, жжение, которые специалистами трактуются как "предболь"; опыты, показавшие исчезновение ЭМ чувствительности людей при обработке кожи в месте воздействия хлоретилом, выключающим болевые рецепторы [23]; факты из лечебной практики — при воздействии КВЧ воли на соответствующий дерматом в больном органе возникает сенсорный отклик, что может быть следствием конвергенции ноцицептивных афферентов от дерматомов внутренних органов на одни и те же нейроны болевых путей, при этом возникает гиперчувствительность кожи из-за того, что висцеральные импульсы повышают возбудимость вставочных нейронов и возникает фасилитация ("облегчение").

Непривычно велики латентные периоды сенсорных реакций на ЭМП воздействие. В каком месте рефлекторной дуги могут "набегать" такие задержки, которые на три порядка превышают время реакции в зрительной, слуховой сенсорных системах? Фактически рефлекторная дуга при сенсорных реакциях состоит из четырех основных блоков: рецептивное поле — проводящие пути — подкорковый блок анализа стимулов — корковый блок анализа, формирования ощущения и вербализации. В первом блоке при "работе" любых рецепторов больших задержек возникнуть не может. Во втором блоке могут возникнуть значительные времена при условии многих синаптических переключений, проведения афферентных сигналов по немиелинизированным нервным волокнам, включения гуморальных звеньев. В третьем и четвертом блоках также могут возникнуть существенные задержки из-за трудностей идентификации такого неспецифического сигнала, как ЭМП.

При изучении соматосенсорной системы принято подразделять афферентные, центростремительные пути и соответствующие центральные отделы на филогенетически молодую специфическую и филогенетически старую неспецифическую системы. Термин "специфическая соматосенсорная система" применяется к тем центральным нервным компонентам, которые имеют только один анатомически и нейрофизиологически идентифицируемый главный вход от одной периферической сенсорной поверхности (механорецепторы кожи, рецепторы глаза и внутреннего уха). В неспецифической системе афферентные входы не так четко определены, система может возбуждаться сигналами, сходящимися от всех сенсорных поверхностей (полиmodalная или полисенсорная конвергенция).

В специфической части соматосенсорной системы (называемой также лемнисковой системой, поскольку одним из важнейших ее трактов, явля-

ется медиальный лемниск, идущий от продолговатого мозга в таламус) кожные афференты проецируются в две кортикальные зоны теменной области SI и SP. Эта система содержит всего три синапса — в ядрах заднего столба продолговатого мозга, в вентробазальных ядрах таламуса и в коре больших полушарий, поэтому сигналы от периферии в центр передаются быстро. Характерной особенностью специфической системы является ее соматотопическая организация, упорядоченное (топографическое) отображение кожи, периферической сенсорной поверхности на всех "станциях" переключения.

В неспецифической соматосенсорной подсистеме, называемой экстралемнисковой, наиболее важными компонентами являются ретикулярная формация ствола мозга и неспецифические ядра таламуса. Эта система связана практически со всеми областями коры больших полушарий. Эти связи диффузны и в них почти совсем отсутствует соматотопическая организация. Кроме того, существуют связи с гипоталамусом, с лимбической системой и подкорковыми центрами моторной коры. Основные функции неспецифической системы — эмоциональная окраска восприятия, контроль состояния сознания, ориентировочные реакции. Учитывая все вышесказанное, представляется логичным предположить, что, главным образом, экстралемнисковая соматосенсорная система обеспечивает проведение и восприятие ЭМ стимула. В рамках этого предположения можно объяснить и те положительные эмоции, которые возникают у больных при ЭМ терапии, о чем так часто сообщают врачи.

Хотелось бы отметить хорошие количественные совпадения наших экспериментальных данных по сенсорной индикации КВЧ излучения с физиологической гипотезой И.В.Родштата [24] в части его расчетов времени рефлекторной дуги при воздействии мм-волн. Действительно, если в опытах по изучению ЭМ чувствительности человека к инфранизкочастотным МП испытуемые практически всегда разделялись на три группы по времени реакции — "коротколатентные" (лат. = 5–20 с), "среднелатентные" (лат. = 20–40 с) и "длиннолатентные" (лат. = 40–60 с), [21], то при сенсорной индикации КВЧ поля гистрограмма распределения латентных периодов имела единственный пик в области 40–50 с и очень малый разброс (рис.2). В подсчетах И.В.Родштата КВЧ стимул проходит по рефлекторной дуге, включающей "тихоходное" нейрогуморальное звено, в течение 40–60 с. По его гипотезе поглощение энергии мм-волн осуществляется связанная вода коллагена; в силу этого происходят изменения электронного состояния коллагена и, следовательно, его пьезоэлектрических свойств; возбуждение чувствительного нервного волокна возникает от механической деформации коллагенового в виду их непосредственной сопряженности, в частности, в тельцах Руффини, которые обладают фоновой активностью. Далее через полисинаптические пути происходит возбуждение преганглионарных синаптических нейронов боковых рогов

спинного мозга и возбуждение расположенных в вегетативных ганглиях МИФ нейронов, которые выделяют в синаптические щели и сосудистое русло адреналин (А) и норадреналин (НА). Так что подключение церебральных механизмов осуществляется с помощью гуморального фактора (А и НА МИФ нейронов).

Экспериментальные данные Н.П.Залюбовской [25] подтверждают эту гипотезу — при воздействии мм-волн на организм было обнаружено повышение А и НА в крови и надпочечниках, А — в гипоталамусе и НА — в коре больших полушарий мозга.

Таким образом, можно говорить о медленной системе начального реагирования при восприятии ЭМП, которая включает в себя как нервное, так и гуморальное звено.

Проблема восприятия низкоинтенсивных ЭМП является частью сенсорной физиологии слабых сигналов и представляется в настоящее время еще весьма далекой от разрешения.

Сенсорная физиология или психофизика, которая включала в себя такие подразделы как объективная и субъективная сенсорная физиология, изучает сенсорные реакции живого организма на воздействие различных факторов окружающей среды. Однако до последнего времени все психофизические исследования касались, главным образом, раздражителей, имеющих специфический для них рецепторный аппарат — свет, звук, холод — тепло, болевые стимулы, различные виды тактильных раздражений (вибрация, давление, прикосновение и т.п.). Электромагнитные поля следует отнести к неспецифическому виду раздражителей, т.к. в настоящее время, по крайней мере, у человека, не известны специфические рецепторы, которые воспринимали бы ЭМ излучение. Кроме того, применяемые нами в опытах ЭМП являлись низкоинтенсивными, и в связи с этим существует проблема выделения сигнала из шума, поскольку собственные шумы сенсорной системы могут вызывать такие ее ответы, которые не отличаются качественно от ответов, возникающих под действием сигналов ложной тревоги. Чтобы учесть эти шумы, мы применяли в опытах ложные воздействия ("пустые пробы").

Что же может быть источником ложных тревог в сенсорной системе? Их несколько.

В основе каждого ощущения как образа сигнала, сколь бы он слабым ни был, лежит специфический пространственно-временной паттерн возбуждений. Соответствующие сигналу упорядоченные паттерны могут возникать на основе временных связей по механизму условного рефлекса, в частности, условного рефлекса на время, если интервалы подачи сигналов остаются достаточно постоянными (что имело место в наших опытах). Следовательно не исключено, что ощущение может возникать условно-рефлекторным путем и быть сенсорным источником реакций ложной тревоги. Результаты ряда исследований подтверждают воз-

возможность условно-рефлекторного вызова ощущений слабого сигнала разных модальностей [26, 27].

Еще одним источником возникновения упорядоченного паттерна возбуждений, в отсутствие сигнала, может стать "предпусковая интеграция" — скрытое афферентно-эфферентное образование, возникающее в результате частичного афферентного синтеза при ожидании пускового сигнала, т.е. скрытая система возбуждений, приготовленная различными предшествующими условиями, способная сформировать реакцию, как только подействует пусковой стимул [28].

Особенно очевидна приспособительная роль такой интеграции при обнаружении слабых сигналов, когда находящаяся в состоянии скрытого возбуждения система уже подготовлена к ответу и может актуализироваться при действии очень слабых афферентаций. "Предпусковая интеграция" — это физиологический механизм, обеспечивающий состояние селективного внимания при выполнении задачи восприятия слабого сигнала. При низком уровне интеграции человек не ощущает и не осознает слабых сигналов, а при высоком уровне у него могут возникать ложные тревоги.

Еще одним источником ложных тревог может стать использование испытуемых в опытах стратегии угадывания, когда ответы о наличии сигнала, как и ложные тревоги, не основываются на ощущениях.

"Объективизировать" субъективные ощущения в опытах по восприятию слабых сигналов можно специальными методическими приемами проведения эксперимента, набором достаточно большого количества экспериментальных данных для статистической обработки.

Вероятнее всего, что у плохо распознающих испытуемых "работают" все три источника ложных тревог, тогда как у хорошо распознающих, главным образом, "предпусковая интеграция", которая наряду с ложными тревогами обеспечивает высокий уровень селективного внимания для восприятия низкоинтенсивных ЭМП.

3. ЭЭГ РЕАКЦИИ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ПРИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Одним из важнейших показателей функционального состояния организма является его церебральная деятельность, оцениваемая параметрами ЭЭГ, ритмы которой отражают нейрональные связи, объединяя разные зоны коры и подкорковых образований в динамические рабочие ансамбли.

Использование современных методов анализа ЭЭГ на ЭВМ, а также системный подход к деятельности мозга человека дали толчок к развитию направления работ, позволяющих судить о функционировании мозга на основании изучения пространственно-временной организации его электрических процессов и позволили высказать определенные суждения о

происхождении разных форм биоэлектрической активности и изменении их при различных функциональных состояниях [26, 27].

Изменение ЭЭГ под влиянием ЭМП изучались, главным образом, животных — кроликов, крыс, обезьян [28, 29], при этом в исследованиях применяли общее воздействие, когда в зону действия ЭМП попадал весь организм, включая головной мозг. В доступной нам литературе экспериментальных работ по изучению электрофизиологических реакций ЦНС у человека при периферическом воздействии ЭМП практически нет за исключением работ Л.Клитцинга, который наблюдал изменения фоновой ЭЭГ человека при периферическом воздействии достаточно интенсивных ПМП (свыше 0,2 Тл). При этом спектр ЭЭГ сдвигался в сторону преобладания медленных волновых процессов [33].

Для воздействия использовали ЭМП синусоидальной формы частотой 37,7 ГГц с падающей мощностью на раскрыте рупора 15 мВт/см² и 42,25 ГГц с плотностью падающей мощности (ППМ) на конце диэлектрического волновода 5 мВт/см².

В опытах участвовали 39 практически здоровых испытуемых в возрасте от 20 до 35 лет.

Проводили пять опытов с плацебо и 10 опытов воздействием поля, из них в 5 экспериментах воздействовали на кисть правой руки и в 5 — на кисть левой руки. Раскрыв волновода помещался на тыльной стороне кисти в зоне биологически активной точки ХЭ-ГУ (4 Gi).

Во время опыта испытуемый размещался в удобном кресле в экспериментальной изолированной камере. Экспозиция поля составляла 60 или 30 минут. До и после опыта для контроля физиологического состояния измеряли артериальное давление и пульс.

Перед началом воздействия и сразу после него проводили записи ЭЭГ с восьми отведений в лобных ($F_3 - F_4$), центральных ($C_3 - C_4$), теменных ($P_3 - P_4$) и затылочных ($O_1 - O_2$) областях обоих полушарий. Регистрацию ЭЭГ осуществляли на электроэнцефалографе ЕЕС-16 (Венгрия). В качестве индифферентного использовался объединенный ушной электрод.

Параллельно с записью на энцефалографе ЭЭГ вводилась в режиме "on-line" в ЭВМ РС-Amstrad для обработки по методу быстрого преобразования Фурье. Эпоха анализа — 12,5 с, пять отрезков по 2,0 с. Исследовали частоты от 0,3 до 30 Гц. Вычисляли спектры мощности и уровень когерентности как для каждого диапазона (дельта-1, дельта-2, тета-1, тета-2, альфа, бета-1, бета-2), так и для всей излучаемой полосы частот, а также величину среднего уровня когерентности КОГ_{ср}. Полученные данные подвергали вторичной статистической обработке по специальной программе.

Кроме того, для оценки текущих изменений пространственно-временной организации биопотенциалов неокортекса во время действия ЭМП при анализе ЭЭГ был применен метод хаотической динамики [34,

35]. Этот метод является наиболее адекватным в тех случаях, когда исследуемая система характеризуется сложным некогерентным поведением во времени, и позволяет достаточно точно определить момент времени, в который система переходит в новое состояние. Расчет параметров структуры странного аттрактора дает возможность получить большой объем информации об исследуемой системе. Для описания странного аттрактора использовались размерность аттрактора P и метрическая энтропия K , для чего был создан специальный алгоритм обработки ЭЭГ [36].

Запись ЭЭГ для формирования файлов проводили в трех состояниях — в фоне, до начала воздействия, в течение 30 минут экспозиции ЭМП КВЧ и после окончания воздействия по четырем парным отведениям ($F_3 - F_4$, $C_3 - C_4$, $P_3 - P_4$ и $O_1 - O_2$) на ЭВМ РС-Amstrad. Для исследования использовали частоты от 0,05 до 30 Гц. Частота опроса по каждому из восьми каналов составляла 60 Гц.

Экспозиция ЭМП в течение 60 минут на кисть руки оказывала влияние на межцентральные отношения всего мозга. При этом выраженность возникающих перестроек пространственно-временной организации биопотенциалов определялась тем, на какую руку — правую или левую — воздействовали полем, а также частотой действующего ЭМП.

Анализ спектра мощности и показателей уровня когерентности $КОГ_{ср}$ свидетельствует о том, что основные изменения электрических процессов мозга, возникающие в результате воздействия ЭМП, происходят в медленноволновом диапазоне дельта- и тета-ритмов лобно-центральных областей коры. Однако характер этих изменений зависел от частоты действующего ЭМП.

В исследуемой группе испытуемых, несмотря на присущие каждому индивидуальные особенности, можно выделить ряд общих закономерностей межцентральных отношений в фоновой ЭЭГ: межполушарные связи чаще максимально выражены в теменных и лобно-центральных областях (со средним уровнем когерентности порядка 0,6–0,8) со слабой сочетаемостью в затылочных (средний уровень $КОГ_{ср}$ порядка 0,3–0,5). Что касается внутримушарных связей коры, то испытуемые разделились на две группы. В одной — направленность и величины $КОГ_{ср}$ в правом и левом полушариях практически не отличались, т.е. отсутствовали межполушарные различия в сочетаемости электрических процессов. В другой группе более высокий уровень $КОГ_{ср}$ наблюдался в левом, доминантном полушарии. Тесты на право-леворукость показали, что 30 испытуемых — правши.

При анализе спектрального состава фоновой ЭЭГ также можно выделить две неравные группы: подавляющее большинство испытуемых (33 человека) имело в спектре выраженный альфа-ритм, главным образом, в затылочных и теменных областях; остальные испытуемые имели "рассеянный" тип спектра, со слабой мощностью альфа-ритма.

В опытах с плацебо основные перестройки корковой ритмики можно охарактеризовать следующим образом: либо это снижение KOG_{cp} , особенно в дельта-тета-диапазоне, либо сохранение фонового уровня, либо его незначительное повышение в отдельных диапазонах. Анализ спектра мощности показывает, что происходит снижение мощности ритмов, более выраженное в дельта-тета-диапазонах, и некоторое ее повышение в альфа-диапазоне. Таким образом, в результате опытов с плацебо (т.е. пребывания испытуемого в течение 60 минут в состоянии покоя в звуко-изолированной камере) возникло состояние своеобразной "реакции ожидания" с особой пространственно-временной организацией биопотенциалов коры головного мозга.

ЭЭГ реакции человека на периферическое воздействие мм-излучения имеют много общего с воздействием МП ИНЧ [21] — это и реактивность передне-центральных отделов коры головного мозга в медленно-волновом диапазоне и зависимость ответа от сенсорной и функциональной асимметрии. Однако воздействие мм-волн определяет и ряд особенностей субсенсорной реакции. Во-первых, в отличие от МП ИНЧ при действии мм-излучения в спектре ЭЭГ наиболее реактивным становится альфа-ритм. При этом после воздействия происходит значительное повышение его мощности (рис.4). Кроме того, у испытуемых с выраженным пиком альфа-ритма в фоновой ЭЭГ возникает его сдвиг в полосу более высоких частот (рис.5). У испытуемых с "рассеянным" типом фоновой ЭЭГ в результате КВЧ воздействия появляется выраженный альфа-пик (рис.6).

Во-вторых, повышение среднего уровня когерентности биопотенциалов KOG_{cp} происходит только в передне-центральных отделах неокортекса (в дельта-тета-диапазоне) и практически никогда не бывает ответа в теменных областях коры (рис.7).

В-третьих, возникающие перестройки биопотенциалов всегда (при действии и на правую, и на левую руки) значительнее в правом полушарии, чем в левом. Однако при действии поля на правую руку все реакции более выражены, чем при действии на левую. Описанные выше экспериментальные результаты получены при действии КВЧ излучения частотой 42,25 ГГц и экспозицией 60 минут.

Внутри мм-диапазона было исследовано влияние излучений двух частот 37,7 ГГц (длина волны 8 мм) и 42,25 ГГц (длина волны 7,1 мм). Полученные данные свидетельствуют о существенной роли в реализации не только сенсорных, но и субсенсорных реакций такого биотропного параметра ЭМП, как частота ЭМ сигнала.

При действии ЭМИ с частотой 37,7 ГГц достоверных измерений показателя KOG_{cp} не обнаружено: в одной группе испытуемых действие показателя вызывает незначительное повышение среднего уровня когерентности более выраженное в теменно-затылочных областях, в другой группе незначительное его снижение практически по всей коре.

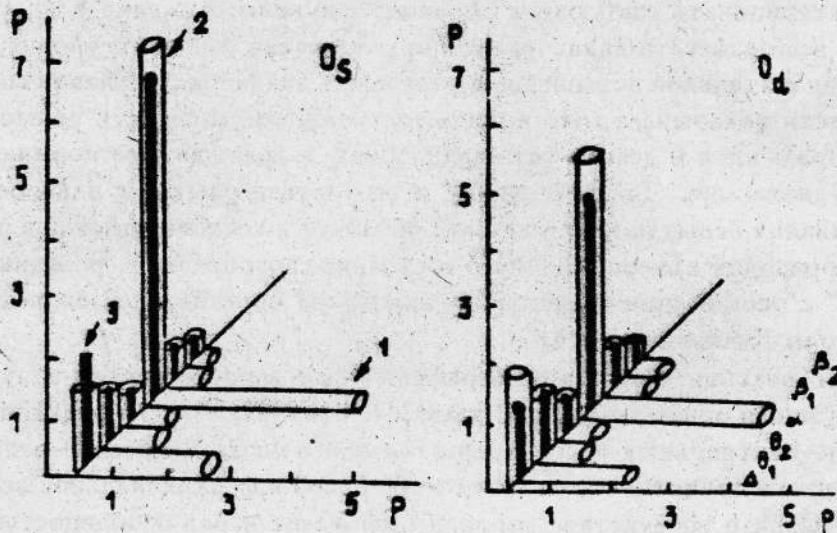


Рис. 4: Динамика мощности ритмов (P) ЭЭГ (в % к фону) в затылочных областях левого (O_s) и правого (O_d) полушарий в опытах с плацебо (1) после 60-минутной экспозиции КВЧ (2 — при воздействии на правую руку, 3 — при воздействии на левую руку).

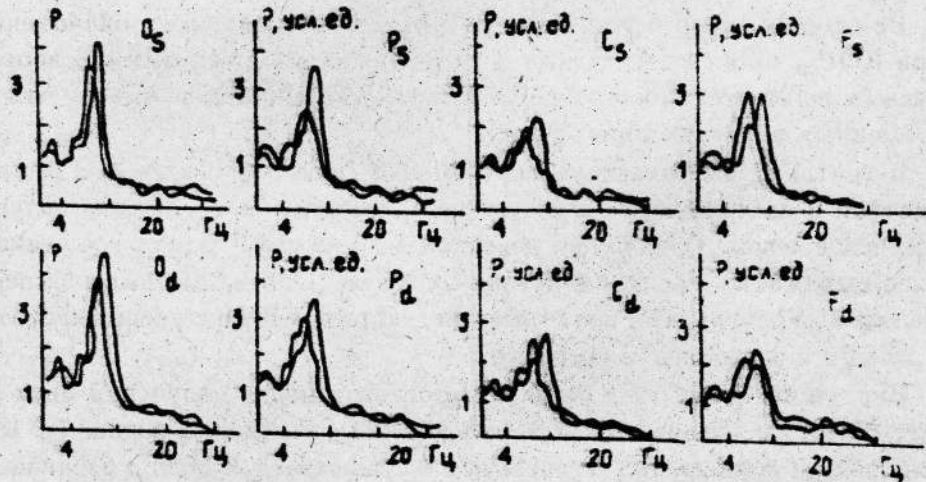


Рис. 5: Спектральная мощность (P) ЭЭГ у испытуемого с выраженным альфа-ритмом до (-) и после (-) 60-минутной экспозиции КВЧ в левой (F_s, C_s, P_s, O_s) и правой (F_d, C_d, P_d, O_d) гемисферах.

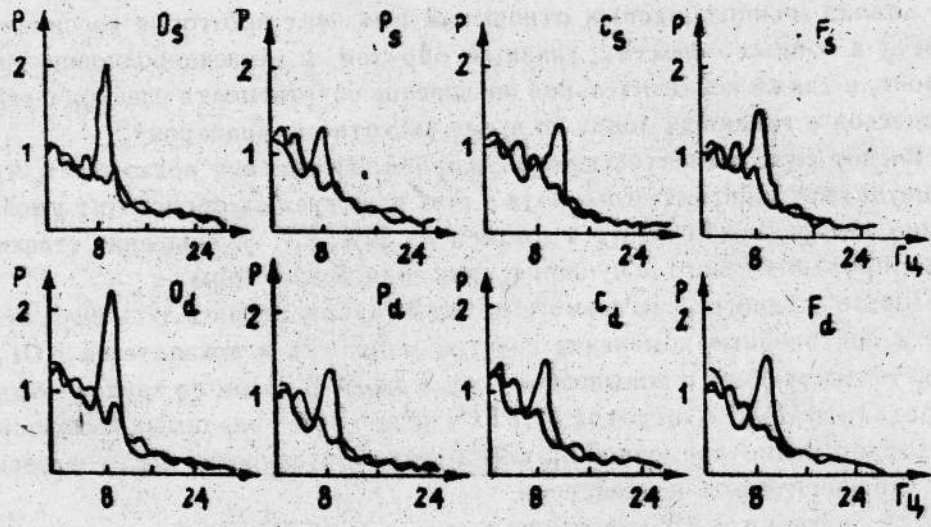


Рис. 6: Спектральная мощность (P) ЭЭГ у испытуемого с "рассеянным" типом фоновой ЭЭГ до (-) и после (-) 60-минутной экспозиции КВЧ в левом и правом полушариях.

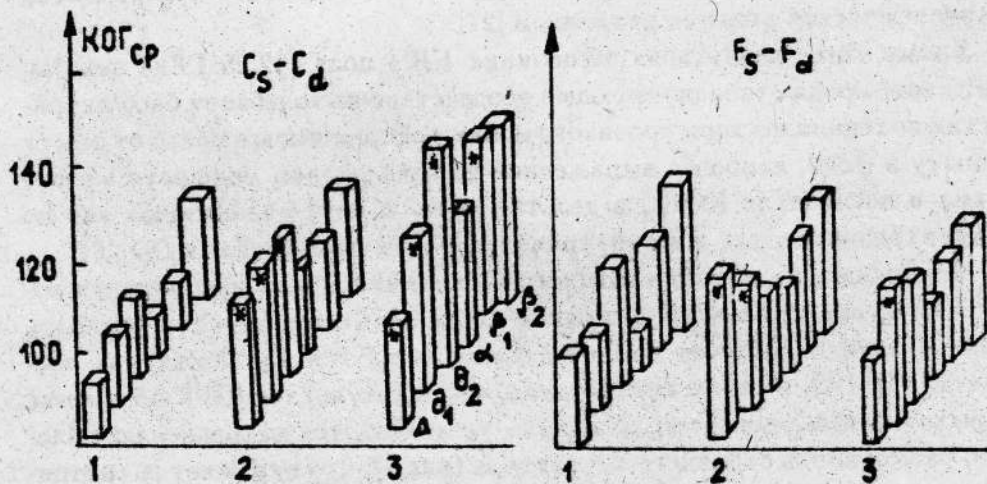


Рис. 7: Динамика показателя КОГ_{ср} в передне-центральных областях неокортекса ($C_s - C_d$, $F_s - F_d$) (в % к фону) в опытах с плацебо (1) и после 60-минутной экспозиции КВЧ на левую (2) и на правую (3) руки: * — достоверные различия ($p = 0,01$).

Анализ межполушарных отношений выявляет некоторое увеличение КОГ_{ср} в лобных областях, главным образом, в медленноволновом диапазоне, а также незначительное повышение сочетаемости электрических процессов в теменных зонах по всему частотному диапазону.

Расчет коэффициентов межполушарной асимметрии показывает, что в результате действия этого поля у всех испытуемых происходит уменьшение коэффициента $K_{МПА}$ в среднем на 34%, т.е. уменьшение степени доминирования левого полушария, снижения тонуса коры.

Только у одного испытуемого из всей группы наблюдались выраженные и достоверные изменения спектра мощности и показателей КОГ_{ср} свидетельствующие о повышении тонуса коры. В целом по группе можно сказать, что ЭМП с частотой 37,7 ГГц не вызывает значимых изменений пространственно-временной организации биопотенциалов мозга человека при периферическом воздействии.

При действии КВЧ излучения с частотой 42,25 ГГц было проведено 2 серии экспериментов — с экспозицией 60 и 30 минут. Именно такие экспозиции используются в настоящее время в КВЧ терапии.

При экспозиции 30 минут возникающие перестройки биоэлектрической активности неокортекса были аналогичными полученным при 60-минутном действии поля.

Подобный паттерн электрических процессов в коре характерен для состояния повышенного мозгового тонуса, т.е. возникает при развитии неспецифической реакции активации [27].

Кроме того, длительная экспозиция КВЧ поля (42,25 ГГц) показывает своего рода стабилизирующее воздействие на колебания биоэлектрических потенциалов коры головного мозга, которые имеют место от опыта к опыту в фоне, наиболее выраженное по показателям мощности альфа-ритма и показателя КОГ_{ср} в дельта-, тета- и альфа-диапазонах как по межцентральному, так и по внутриполушарным отношениями (рис.8).

Использование метода хаотической динамики для оценки текущих изменений функционального состояния мозга позволило выявить фазность возникающих перестроек биопотенциалов (на 7-8 и 15-17 минутах воздействия ЭМИ), а также подтвердить, что в результате КВЧ облучения происходит повышение тонуса коры — увеличивается по сравнению с плацебо размерность странного аттрактора (рис.9), что отражает активационные процессы в коре [34].

Проведенные исследования показывают, что ЭМП различных диапазонов — от инфранизкочастотного до КВЧ — вызывают перестройку пространственно-временной организации церебральной деятельности, при этом возникающие изменения зависят от такого биотропного параметра как частота поля.

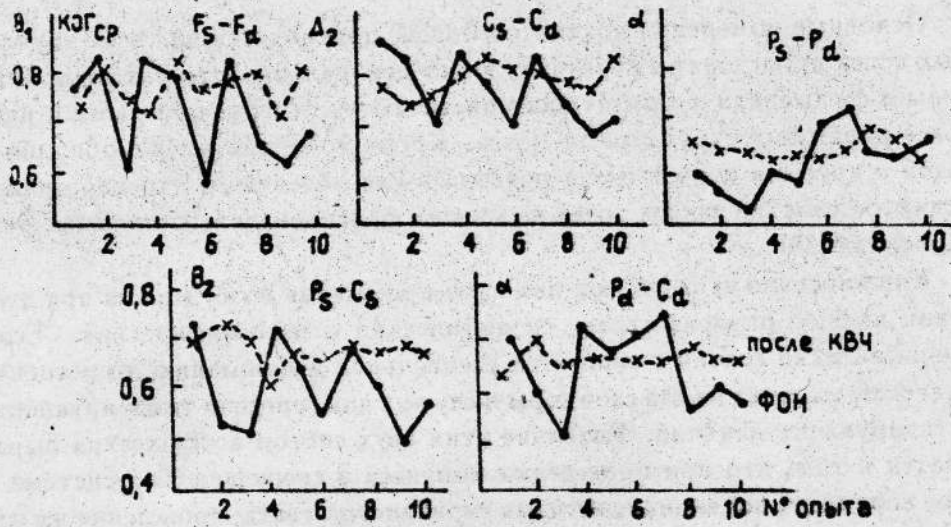


Рис. 8: Стабилизирующий эффект КВЧ воздействия по показателю КОГ по межполушарным ($F_s - F_d$, $C_s - C_d$, $P_s - P_d$) и внутриполушарным ($P_s - C_s$, $P_d - C_d$) отношениям в дельта- тета- и альфа-ритмах.

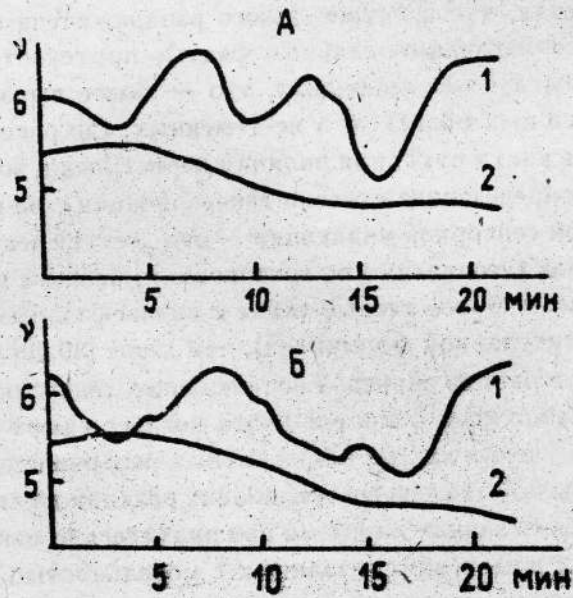


Рис. 9: Динамика корреляционной размерности странного аттрактора (ν) в течение 30-минутной экспозиции ЭМИ КВЧ (1) и плацебо (2) в затылочных областях левого (А) и правого (Б) полушарий коры головного мозга.

Основные изменения показателей ЭЭГ практически для всех изучаемых полей происходят в передних, лобно-центральных отделах коры. Эти зоны в филогенетическом отношении являются самыми молодыми и наиболее ранними структурами мозга. Кроме того, они имеют обширные связи с другими корковыми и подкорковыми областями, что определяет активное участие любых долей во многих функциональных системах реагирования [38].

Как известно существуют два пути проведения возбуждения при действии любого раздражителя: специфический и неспецифический. Если специфический связан с передачей специальной информации, то неспецифический выходит на все слои коры и служит для передачи тонизирующих, активирующих влияний. Различие этих двух систем возбуждения выражается в том, что при проведении импульса в специфической системе в коре возникает потенциал действия первичного ответа; проведение же ответа, но неспецифическим путем характеризуется вторичным ответом и затянутым действием, состоящим в эффекте изменения фоновой ритмики коры. При этом специфический ответ возникает в соматотопической проекции соответствующих точек рецепторной поверхности на периферии, неспецифическое влияние вызывает генерализованное воздействие в широких областях коры.

Представляется, что действие такого раздражителя как ЭМП, о чем свидетельствуют экспериментальные факты, протекает в основном по неспецифическим путям: во-первых, это — более выраженные ответы передне-центральных областей, а не теменных, где располагается топическая проекция кисти руки, при наличии перестроек и во всех остальных областях (т.е. определенная степень генерализации); во-вторых, затянутость ответа при сенсорной индикации — это десятки секунд), в-третьих, более выраженная (независимо от локализации) реакция правого полушария, которое имеет более тесные связи с дисцефальными структурами (таламусом, ретикулярной формацией), чем левое [39,40].

Полученные в работе данные о возникающих генерализованных реакциях на ЭМП различных областей мозга подтверждают результаты, полученные при изучении других афферентных раздражителей [26]. В этих исследованиях была выявлена генерализация реакций на световые раздражения и проприоцептивные нагрузки при значительно меньшей выраженности локальных изменений, связанных с модальностью раздражающих стимулов. При афферентных раздражениях возникает перестройка межцентральных отношений ритмов ЭЭГ, проявляющаяся в изменении связей между различными областями коры, возникновении новых по характеру отношений электрических процессов. Под влиянием раздражений устанавливаются усиленные в одних отделах коры и сниженные в других импульсные и циклические связи, формируя систему пространственно-временных отношений, свойственных данному функциональному состоя-

нию.

Возникающие изменения пространственно-временной организации проявляются повышением (в той или иной степени) среднего уровня когерентности, более выраженным в диапазоне дельта-тета частот. В то время, как в опытах с плацебо происходило некоторое снижение уровней когерентности, либо повышение, но в диапазоне альфа-бета частот.

Традиционно в электрофизиологии принято считать появление медленных волн признаком патологии или тормозного состояния [41]. Однако эти состояния обычно связаны с падением среднего уровня когерентности, т.е. со снижением тонуса коры. Повышение мощности медленноволновой ритмики в спектре ЭЭГ с одновременным увеличением сочетаемости электрических процессов различных зон коры в этой полосе частот характеризует другое функциональное состояние мозга. Так Н.Е.Свидерская [30] полагает, что такое положительное взаимодействие между когерентностью и медленными волнами при определенных ситуациях может являться выражением значительного повышения напряженности мозговых процессов.

Принадлежность медленных ритмов в системах, обеспечивающих условия для реализации деятельности, уже показана рядом авторов. Возможно, полученные в данной работе результаты о медленноволновом отклике церебральной деятельности на ЭМП свидетельствуют о своеобразной ориентировочной реакции мозга — подготовке к некой предстоящей работе, которая может последовать за предупреждающим слабым ЭМП сигналом, для чего возникают перестройки биопотенциалов, усиливающие активационные процессы (повышение средних уровней когерентности в передних корковых областях).

Возникающую при периферическом действии ЭМП сложность изменений электрических процессов и их межцентральных отношений в коре можно объяснить с позиции представления об очагах стационарной активности, которые возникают в мозге при раздражении [29]. Динамические очаги стационарной активности в головном мозге здорового человека, включающие возбуждение корковых зон, подкорковых специфических и неспецифических структур, создают перестройку функциональных связей в головном мозге. В соответствии с представлениями А.А.Ухтомского (1954) можно говорить о том, что афферентное раздражение вовлекает в активность констелляцию центров, вызывая возбуждение одних и одновременно торможение других.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенность ЭМП как физического фактора внешней среды состоит в том, что изменение любого из его биотропных параметров (частоты, формы сигнала, интенсивности, локализации или экспозиции) изменяет

реакции живых организмов. Так, очень важным является такой биотропный параметр, как частота. Из всего спектра неионизирующей ЭМП на одних частотах эффекты воздействия более выражены по сравнению с другими, рядом расположенными. Такие узкие полосы особенно характерны для мм-диапазона [42, 43]. Как показали исследования, проведенные в Симферопольском университете [44, 45] аналогичная картина наблюдается на другом конце спектра — в диапазоне инфранизких частот.

Важен выбор интенсивности поля, т.к. для каждой частоты существует некоторое оптимальное значение, где биологический эффект выражен наиболее четко (так называемые "амплитудные окна" — [46]). И если до последнего времени исследователи считали, что биологическое действие ЭМП возможно только при высоких напряженностях (тепловое действие), то в последние годы получены убедительные данные, свидетельствующие о том, что низкоинтенсивные ЭМП, не вызывающие тепловых эффектов, могут вызывать существенные физиологические сдвиги в организме.

В настоящее время можно считать установленным экспериментальным фактом то, что биологические реакции на низкоинтенсивные неионизирующие ЭМП развиваются в рамках общего адаптационного синдрома и выражаются в повышении неспецифической резистентности организма.

Данные наших экспериментальных исследований с использованием метода сенсорной индикации и электроэнцефалографии позволяют говорить о том, что при периферическом действии низкоинтенсивных ЭМП у человека возникают как субсенсорные, так и сенсорные реакции.

Длительная экспозиция ЭМП ИИЧ и КВЧ диапазонов вызывает перестройки корковой ритмики здорового человека (как по межцентральным, так и внутриполушарным связям), которые свидетельствуют о развитии неспецифической реакции активации, т.е. повышения тонуса коры головного мозга. При этом наиболее реактивными во всем спектре ЭЭГ являются тета- и альфа-ритмы. Характер и выраженность субсенсорных реакций определялись биотропными параметрами воздействующего поля — частотой и локализацией. В исследованных диапазонах частот значимые изменения пространственно-временной организации биопотенциалов мозга возникали при частотах 42,25 ГГц и 53,57 ГГц. В ЭЭГ реакциях выявлено два вида асимметрии — сенсорная (при действии на правую руку характер изменения показателей ЭЭГ остается таким же, как и при действии на левую, но сама реакция выражена сильнее) и функциональная (при воздействии на одну и ту же руку реакции гемисфер различны, причем, при действии и на правую руку, и на левую — правое полушарие более реактивно).

Обнаружены качественные различия в ЭЭГ реакциях человека на поля ИИЧ и КВЧ диапазонов. Так, при действии МП ИИЧ достоверные изменения сочетаемости электрических процессов мозга возникают в передне-центральных областях, а также в теменной области контрлатерального

полушария (повышение KOG_{cp} по дельта-тета-ритмам) с одновременным увеличением мощности дельта-ритма. При длительной экспозиции КВЧ излучения наблюдалось значительное увеличение мощности альфа-ритма в затылочных областях и увеличение среднего уровня когерентности биопотенциалов в центрально-фронтальных областях, более выраженное в правом полушарии (независимо от локализации). При этом ни у одного испытуемого не было зафиксировано ответа в теменной области.

Изучение сенсорных реакций человека позволяет говорить о существовании "частотных окон" электромагнитной чувствительности 8–10 Гц для ИНЧ диапазона и 42,25 ГГц и 53,57 ГГц для КВЧ диапазона. Кроме того, выявлено, что при восприятии ЭМП существенную роль играет форма ЭМ сигнала — импульсные и сложно-модулированные поля ощущаются человеком достоверно лучше, чем синусоидальные.

Модальность возникающих ощущений (покалывание, прикосновение, давление, "мурашки", жжение) свидетельствует об участии в рецепции ЭМП кожного анализатора — вероятнее всего механорецепторов и болевых рецепторов. Выявлено, что в сенсорных реакциях на ЭМП так же, как и субсенсорных, важное значение имеет сенсорная асимметрия человека — преимущественно достоверное различие поля осуществляется у испытуемых при воздействии на неведущую руку.

Найдены корреляции индивидуальной чувствительности человека к ЭМП с величиной его электрических и болевых порогов — чем выше эти пороги, тем ниже электромагнитная чувствительность. Существуют некие "критические" значения этих порогов, когда испытуемые проявляют полную нечувствительность к ЭМП всех диапазонов частот.

При восприятии ЭМП латентные периоды реакций составляют десятки секунд (в отличие от реакций на свет, звук, тактильные раздражения), что говорит о включении в рецепцию сложной нейрогуморальной системы реагирования. Однако, если время реакций на МП ИНЧ лежит в пределах 5–60 с, то для КВЧ диапазона — 40–60 с. Это говорит о том, что для мм-волн куммулятивный эффект должен быть более выражен, а также о некоторых различиях механизмов биологического действия ИНЧ и КВЧ полей (как и при ЭЭГ реакциях):

Следует отметить, что если сенсорные реакции возникают у испытуемых только в состоянии спокойного бодрствования и выражены даже у тех испытуемых, которые относятся к группе плохо распознающих поле.

Экспериментально обнаружены различия в реакциях ЦНС здорового человека на ЭМП ИНЧ и КВЧ диапазонов позволяют говорить о различных физиологических механизмах, обеспечивающих эти реакции: преимущественном участии специфической, лемнисковой системы — для ИНЧ полей, и неспецифической, экстралемнисковой — при действии мм-волн. Кроме того, эти различия определяются физическими свойствами ЭМИ: для МП ИНЧ человеческий организм "прозрачен", поле проникает глу-

боко, вовлекая в реакцию сосудистое русло, глубоко расположенные рецепторы, мышечные волокна, действуя непосредственно (а не только рефлекторно) на нервные волокна. КВЧ излучение практически полностью поглощается в эпидермисе, и в зону его действия попадают только неглубоко расположенные рецепторы, свободные нервные окончания, поэтому механизм действия мм-волн может быть, главным образом, рефлекторным.

Результаты наших исследований, свидетельствующие о том, что периферическое действие низкоинтенсивных неионизирующих ЭМП вызывает неспецифическую реакцию активации коры головного мозга здорового человека, характер и выраженность которой зависит от частоты поля, хорошо согласуется с выводами А.С.Пресмана [44], обобщившего многочисленные данные, полученные на животных и отдельных системах человека:

— изменения в организме, возникающие под действием ЭМП — неспецифичны;

— воздействие ЭМП на центральные отделы нервной системы чаще приводит к тормозным реакциям, а на периферические — к реакциям активации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Реброва Т.Б. Различия в подходе и устранении обратимых и необратимых функциональных нарушений организма с помощью когерентных излучений миллиметрового диапазона волн. — В кн.: Миллиметровые волны в медицине и биологии. — М.: ИРЭ.
2. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. — М.: Радио и связь, 1991. 160 с.
3. Бецкий О.В., Ильина С.А. Кожа и проблема взаимодействия миллиметровых волн с биологическими объектами. — В кн.: Миллиметровые волны в медицине и биологии. — М.: ИРЭ АН СССР, 1989. С.55-71.
4. Хижняк Е.П., Бецкий О.В., Воронков В.Н. и др. о роли пространственного распределения поглощения ЭМИ в формировании биоэффектов при КВЧ облучении. — Междунар. симп. "Миллиметровые волны не-тепловой интенсивности в медицине". — М.: ИРЭ АН СССР, 1991. С.630-634.
5. Вельховер Е.С., Кушнер Г.В. Экстерорецепторы кожи. — Кишинев, Штиинца, 1991. 112 с.
6. Воронков В.Н., Хижняк Е.П. Морфологические изменения в коже при

- действии КВЧ ЭМИ. - Междунар.симп."Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине". - М.: ИРЭ АН СССР, 1991.
7. Черняков Г.В., Корочкин В.Л., Бабенко А.П., Бигдай-Е.В. Реакции биосистем различной сложности при воздействии КВЧ излучения низкой интенсивности. - В кн.: Миллиметровые волны в медицине и биологии. - М.: ИРЭ АН СССР, 1989. С.140-167.
 8. Никонов А.А., Андреев Е.А., Евдокимов В.А., Храмов Р.Н., Фесенко Е.Е. Действие мм-излучения на сенсорный ответ механорецепторов бабочки *Antheral pernyi*. - Теодокл.симп."Механизмы биологического действия электромагнитных излучений", Пущино, 1987. С.48.
 9. Буручас Г., Масхольнас Г. Торможение потенциала действия нерва при воздействии миллиметровыми волнами. - В кн.: Миллиметровые волны в медицине и биологии. - М.: ИРЭ АН СССР, 1989. С.168-175.
 10. Хитрово-Орлова Т.В., Павленко В.Б., Ильичева Т.В., Волин С.А. Влияние КВЧ облучения на фоновую и вызванную активность нейронов коры головного мозга кошки. - Магнитобиология и магнитотерапия. Теодокл.Всесоюзн.симп. - Сочи, Куйбышев, 1991. С.76.
 11. Запорожан В.Н., Маккулькин Р.Ф., Шандра А.А. и др. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона и излучения лазера на очаги возбуждения в коре мозга. - Миллиметровые волны в медицине и биологии. - М., 1969.
 12. Годлевский Л.С., Низов В.Н., Запорожан В.Н., Реброва Т.Б. Влияние электромагнитного поля низкой интенсивности на генераторы возбуждения в коре головного мозга. - Междунар.симп."Миллиметровые волны в медицине". - М., 1991. С.257-266.
 13. Хромова С.В. Модификация миллиметровых излучений поведенческих реакций крыс. - Автореф.дисс.канд.биол.наук. - М.: Ин-т ВДН и НФ РАН, 1990. 157 с.
 14. Царицинский В.И., Таранская А.Д., Деркач В.Н. Использование ЭМИ мм-диапазона в лечении депрессивных состояний. - Междунар.симп."Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине". - М.: ИРЭ АН СССР, 1991. С.229-234.
 15. Гапонюк П.Я., Коваленко Л.В., Сотников О.С. и др. Восстановительные процессы в нерве при его облучении ЭМП низкой интенсивности в медицине диапазона КВЧ. - Применение КВЧ излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. - М.: ИРЭ АН СССР, 1989. С.79.
 16. Верус А.В., Столбиков А.Е., Шмаль О.В. и др. Особенности изменения параметров спектра ЭЭГ в ходе КВЧ терапии у больных гипертонической болезнью с разными типами гемодинамики. Межд. симп."Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине. - М.:

- ИРЭ АН СССР, 1991. С.114-119.
17. Дюрвиль Г. Лечение болезней магнитами. – Киев, 1913. 74 с.
 18. Григорьев Н.И. Металлоскопия и металлотерапия. – СПб., 1981. 202 с.
 19. Lavsund P., Olerg P.A., Nilsson S.E.Y. magneto- and electrophosphenes a comparative study. – Med.Biol.Eng.Comput. 1980. V.18. N 6. P.758-764.
 20. Лин Дж.Ч. Слуховой эффект на СВЧ. – ТИИЭР. 1980. Т.68. N 1. С.83-90.
 21. Лебедева Н.Н. Реакции центральной нервной системы человека на электромагнитные поля с различными биотропными параметрами. – Автореф.дисс.д-ра биол.наук. – М.: Ин-т ВИНД и НФ РАН, 1992. 48 с.
 22. Бецкий О.В., Кислов В.В. Волны и клетки. – М.: Знание, 1990. 64 с.
 23. Гилянская Н.Ю., Карзанов В.Н., Звыгинцев Г.И. Изменение чувствительности к магнитному полю при некоторых заболеваниях нервной системы. – В кн.: Магнитные поля в теории и практике медицины. – Куйбышев, 1984. С.17-21.
 24. Родштат И.В. Физиологические предпосылки к пониманию рецепции миллиметровых радиоволн с биологическими объектами // Препринт N 39 (411). – М.: ИРЭ АН СССР, 1984. 17 с.
 25. Залюбовская Н.П. Биологические реакции как основа гигиенической оценки электромагнитных волн мм-диапазона. Автореф.дисс.д-ра мед.наук. – Киев: Киевский медин-т, 1979. 48 с.
 26. Бруннер Дж. Психология познания. – М.: Прогресс, 1977. 412 с.
 27. Горская Г.Б. Психофизиология мышления // "Вопросы психологии". 1977. N 4. С.155-163.
 28. Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. – М.: Наука, 1968. 657 с.
 29. Русинов В.С., Гриндель О.М., Болдырева Г.Н., Вахар Е.М. Биопотенциалы мозга человека. – М.: Медицина, 1987. 254 с.
 30. Свидерская Н.Е. Синхронная электрическая активность и психические процессы. – М.: Наука, 1987. 156 с.
 31. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. – М.: Наука, 1975. 207 с.
 32. Холодов Ю.А., Шиншло А.М. Электромагнитные поля в нейрофизиологии. – М.: Наука, 1979. 168 с.
 33. Klitzing L.von. Static agnetic fields increase the power intensity of EEG of man-Brain. Res. 1989. V.483. N 1. P.201-203.
 34. Пригожин И.Р., Стингерс И. Порядок из хаоса. – М.: Мир, 1986.
 35. Дмитриев А.С., Кислов В.Я. Стохастические колебания в радиофизике и электронике. – М.: Наука, 1989.
 36. Ульбикас Ю.К., Давыдов В.И., Лебедева Н.Н. Применение методов

- хаотической динамики для исследования влияния КВЧ излучения на биоэлектрическую активность мозга человека. – В кн.: Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине. – М.: ИРЭ АН СССР, 1991. Т.2. С.442-449.
37. Ефремова Т.М., Куликов М.А., Резвова И.Р. участие нелинейных динамических процессов в формировании высокочастотной ЭЭГ кролика // Журн. высшей нервной деят. 1991. Т.41. N 5. С.998-1006.
38. Хомская Е.Д. Мозг и активация. – М.: из-во МГУ, 1972. 384 с.
39. Брагина Н.Н., Доброхотова Т.А. Функциональные асимметрии человека. – М.: Медицина, 1988. 240 с.
40. Болдырева Г.Н., Жаворонкова Л.А. Характеристика межполушарных взаимоотношений в ЭЭГ в оценке функционального состояния мозга человека // Журн. высшей нервной деят. 1989. Т.39. Вып.2. С.215-220.
41. Жирмунская Е.А. Биоэлектрическая активность здорового и больного мозга человека. Клиническая нейрофизиология. – Л.: Наука, 1972. С.224-265.
42. Севастьянова Л.А. Особенности биологического действия радиоволн мм-диапазона и возможность их использования в медицине // Вестник академии мед.наук СССР. 1979. N 2. С.65-68.
43. Севастьянова Л.А. Специфическое действие радиоволн миллиметрового диапазона. – В кн.: Петепловые эффекты миллиметрового излучения. – М.: ИРЭ АН СССР, 1981. С.86-113.
44. Сидякин В.Г. Влияние глобальных экологических факторов на нервную систему. – Киев: Наукова думка, 1986. 160 с.
45. Темуриянц Н.А. О биологической эффективности слабого электромагнитного поля инфранизкой частоты. – В кн.: Проблемы космической биологии. – М.: Наука, 1983. Т.43. С.129-139.
46. Эйди У.Р. Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям // Журн. Физиология человека. 1975. Т.1. N 1. С.59.
47. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. – М.: Наука, 1968. 288 с.

Институт высшей нервной деятельности
и нейрофизиологии РАН

Поступила в редакцию
31 мая 1993 г.

**THE REACTION OF THE HUMAN CENTRAL NERVOUS SYSTEM TO
THE PERIFIRAL IMPACT OF LOW INTENSITY MM WAVES**

N.N. Lebedeva

Н.Н. Лебедева