

УДК 636.5:577.3:591.481.7

Л. К. Ершова, М. И. Руднев

ИЗМЕНЕНИЯ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ СТРУКТУР ГОЛОВНОГО МОЗГА КРОЛИКОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МИКРОВОЛН

В отечественной и зарубежной литературе накоплен большой экспериментальный материал по изучению действия электромагнитной энергии СВЧ-диапазона на организм животных и человека [2,7—9,12, 14—17]. Однако влияние низких уровней плотности потока энергии (ППЭ) СВЧ-поля на электрические процессы головного мозга изучено еще недостаточно. Мы изучали состояние биоэлектрической активности некоторых структур головного мозга кроликов (таламической и гипоталамической областей подкорки, сенсомоторной и зрительной зон коры больших полушарий), их взаимосвязи при воздействии малоинтенсивной энергии СВЧ-поля в хроническом эксперименте.

Методика исследований

Опыты проведены на 36 кроликах-самцах породы шиншилла весом 2,7—3,5 кг. Электроды вживляли в заднее гипоталамическое ядро, центральное медиальное ядро таламуса и над проекцией сенсомоторной и зрительной коры головного мозга. Отведение электрической активности от указанных структур осуществляли монополярным способом нихромовыми электродами в полистероловой изоляции. Индифферентный электрод вводили в носовую кость. Подкорковые и корковые электроды вживляли по координатам стереотаксического атласа Фифковой и Маршала [18].

Тотальное облучение животных микроволнами длиной 12,6 см производили дистанционным методом в эхопоглощающих камерах с коэффициентом отражения не более 3% от величины падающей энергии. Излучение энергии происходило сверху. Источником СВЧ-энергии служил генератор «Луч-58». Кроликов облучали по 7 ч в сутки в течение 3 мес СВЧ-полем ППЭ 1; 5; 10; 50 и 500 мкВт/см².

Осуществляли частотно-амплитудный анализ фоновых ЭЭГ, затем через каждые 10 дней трехмесячного облучения энергией СВЧ-поля с реакцией усвоения ритма световых мельканий частотой 5, 8 и 12 Гц. Наряду с визуальной оценкой ЭЭГ и ручной периодограммной обработкой с помощью интегратора произведен автоматический анализ, в результате чего определяли удельный вес электрических колебаний мозга в диапазоне дельта-(1—3 кол/с), тета-(4—7 кол/с) и альфа-волн (8—12 кол/с), который подсчитывался в процентах к общему частотному спектру ЭЭГ и выражался индексом для колебаний данной группы.

Полученные данные обрабатывали статистически по критерию Стьюдента. В конце опытов производили морфологический контроль локализации отводящих электродов.

Результаты исследований

Биоэлектрическая активность при облучении кроликов энергией СВЧ-поля различной интенсивности оказалась весьма вариабельной. Однако при статистической обработке материала удалось выявить определенные закономерности изменений биоэлектрических процессов в изучаемых структурах мозга при ППЭ 10; 50 и 500 мкВт/см². СВЧ-поле ППЭ 1 и 5 мкВт/см² вызывало недостоверные отклонения исходных биопотенциалов сенсомоторной, зрительной коры и подкорковых структур головного мозга животных.

Электрографическая реакция на воздействие электромагнитного поля протекала в корковых и подкорковых областях неодинаково.

Так, через 2 нед воздействия микроволн ППЭ 10 мкВт/см^2 в коре больших полушарий наблюдали нарушения частотного спектра фоновой электрической активности. Индекс альфа-ритма в сенсомоторной коре увеличился в среднем на 19,7, в зрительной — на 43,2% от исходной величины. Амплитуда колебаний этой группы также значительно возросла — в среднем на 53,4 в сенсомоторной коре и на 75,8% — в зрительной.

В подкорковых образованиях (задняя доля гипоталамуса и таламус) аналогичные изменения происходили на день позже. Индекс альфа-ритма к этому времени увеличился в заднем гипоталамусе в среднем на

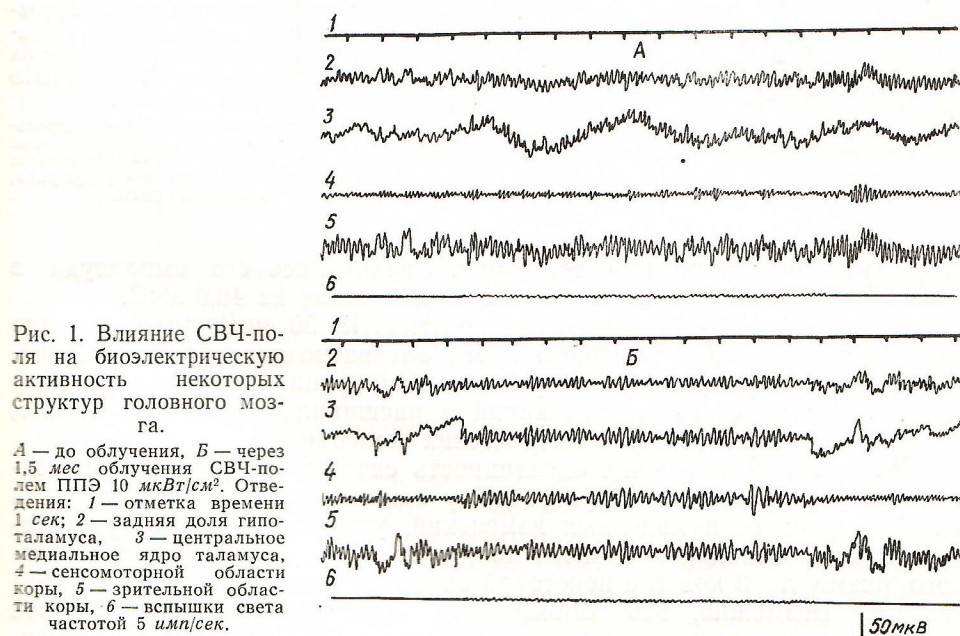


Рис. 1. Влияние СВЧ-поля на биоэлектрическую активность некоторых структур головного мозга.

А — до облучения, Б — через 1,5 мес облучения СВЧ-полем ППЭ 10 мкВт/см^2 . Отведения: 1 — отметка времени 1 сек; 2 — задняя доля гипоталамуса, 3 — центральное медиальное ядро таламуса, 4 — сенсомоторной области коры, 5 — зрительной области коры, 6 — вспышки света частотой 5 имп/сек.

30,0, в таламусе — на 30,5%. Их амплитуда возросла соответственно на 60,0 и 36,1%. Реакция усвоения ритма световых мельканий при фотостимуляции в период увеличения удельного веса альфа-ритма становилась более отчетливой (рис. 1).

Такое состояние электрической активности головного мозга животных сохранялось в течение некоторого времени. Затем наблюдали частичное восстановление фоновой активности. При дальнейшем пребывании кроликов в СВЧ-поле биотоки мозга снова учащались. Однако в период 3 мес воздействия СВЧ-поля ППЭ 10 мкВт/см^2 еще за 30 дней до конца обучения в сенсомоторной и зрительной зонах коры и за 2 нед в глубинных структурах мозга исходные показатели ЭЭГ восстанавливались.

Повышение уровня энергии СВЧ-поля до 50 мкВт/см^2 сказывалось на протекании биоэлектрических процессов.

В сенсомоторной и зрительной зонах коры начальные изменения биоэлектрической активности обнаружены также после 2 нед воздействия СВЧ-поля ППЭ 50 мкВт/см^2 . Однако они были выражены сильнее, чем у кроликов, пребывающих в поле ППЭ 10 мкВт/см^2 . Влияние электромагнитной энергии проявлялось здесь в изменении частотного спектра ЭКоГ, т. е. в достоверном уменьшении количества колебаний дельта-диапазона и увеличении потенциалов в альфа- и бета-диапазо-

нах. В сенсомоторной области коры индекс дельта-волн снизился в среднем на 37,3%, одновременно индекс альфа-волн увеличился в среднем на 25,8%. В зрительной зоне соответственно первый индекс снизился на 24,0%, а второй — возрос на 49,2% (рис. 2). При этом амплитуда альфа-ритма повысилась в сенсомоторной коре на 21,4, в зрительной — на 28,9%. В тета-диапазоне в количественном отношении достоверных изменений не произошло.

В задней доле гипоталамуса и таламусе животных этой группы колебания электрической активности приняли более регулярный характер.

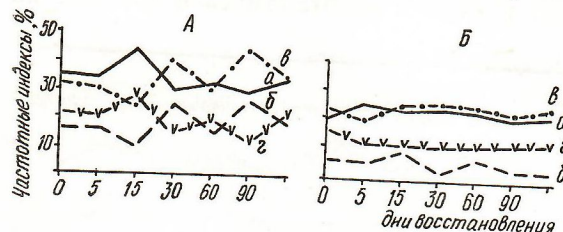


Рис. 2. Динамика альфа- и дельта-ритмов исследуемых структур головного мозга кроликов при воздействии СВЧ-поля ППЭ 50 мкВт/см².

А — опытная группа, Б — контрольная группа. Сенсомоторная область: а — альфа-ритм, б — дельта-ритм; зрительная область: в — альфа-ритм, г — дельта-ритм.

тер, четче регистрировался тета-ритм. Увеличилась его амплитуда в среднем на 10,0 ($p < 0,05$), а в отдельных случаях на 40,0 мкВ.

Двухнедельное облучение СВЧ-полем ППЭ 50 мкВт/см² увеличило способность нейронов головного мозга адекватно реагировать на прерывистую фотостимуляцию. У кроликов этой группы усилилась реакция усвоения ритма световых мельканий и расширился диапазон частот, воспроизводящих частоту электрических колебаний.

Через 3 нед облучения однотипность сдвигов биопотенциалов различных структур мозга нарушилась: у одних кроликов наблюдалось углубление ранее выявленных изменений, у других — некоторое восстановление исходных показателей, у третьих — замедление основного ритма до 3 кол/с, с некоторой синхронизацией процессов на этой частоте. Возможно, это объясняется адаптационной перестройкой ритмических процессов, вызванной влиянием СВЧ-поля данной интенсивности.

После 30-дневного воздействия энергии СВЧ-поля ППЭ 50 мкВт/см² у большинства животных в электрической активности исследуемых структур отмечалось постепенное увеличение удельного веса медленных волн порядка 1—3 кол/с с заметным их нарастанием к концу 3 мес облучения. В сенсомоторной коре в этот период индекс медленных волн увеличился на 67,1, в зрительной — на 40,1%. В задней доле гипоталамуса индекс дельта-волн возрос на 33,5, в таламусе — на 48,1%.

Во время угнетения электрической активности и нарастания медленных высокоамплитудных волн реакция усвоения ритма световых мельканий заметно ухудшилась. Фотораздражения частотой 12 Гц вообще не усваивались.

Облучение животных микроволнами ППЭ 500 мкВт/см² оказывает противоположное действие СВЧ-полю, ППЭ которого составляла 10 мкВт/см². Поле ППЭ 500 мкВт/см² вызывает во всех исследуемых структурах мозга не активацию электрической активности, а угнетение биопотенциалов, характеризующееся достоверным увеличением медленных волн. В сенсомоторной и зрительной зонах оно отмечалось через 10 дней действия СВЧ-поля, а в гипоталамической и таламической областях — несколько позже, в частности, через 12 дней. Удельный вес медленных колебаний в сенсомоторной и зрительной коре возрос, соот-

ветственно, на 30,0 и 31,5%. Увеличение дельта-волн в корковой ритмике сопровождалось существенным повышением амплитуды в среднем на 23,7% исходной величины. Индекс дельта-ритма в задней доле гипоталамуса в это время возрос на 29,4, в таламусе — на 26,7%. Амплитуда медленных колебаний увеличилась в среднем на 27,6%.

Дальнейшее воздействие энергии СВЧ-поля ППЭ 500 мкВт/см^2 приводило к углублению начальных изменений. Кроме нарушения электрической активности головного мозга животных, наблюдалось также ослабление электрических ответов на действие ритмических световых раздражений, особенно в диапазоне 8—12 Гц.

После прекращения облучения (в восстановительном периоде) регистрируемая биоэлектрическая активность у разных животных опытных групп, облученных электромагнитной энергией, ППЭ которой составляла 10, 50 и 500 мкВт/см^2 , имела чрезвычайно разнообразный характер, что указывает на различия в индивидуальных темпах восстановления. Длительность восстановления исходных показателей ЭЭГ была также неодинаковой. Однако через 3 мес после облучения электрическая активность исследуемых структур мозга у всех кроликов была близкой к фоновой.

Статистическая обработка данных контрольной группы животных не обнаружила достоверных изменений параметров частотного спектра и амплитуд электрической активности головного мозга. Реакция усвоения ритма световых мельканий частотой 5, 8 и 12 в секунду в контроле отличалась стабильностью в течение 3 мес эксперимента.

Обсуждение результатов исследований

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования биоэлектрической активности коры и подкорковых образований головного мозга животных при воздействии микроволновой радиации показали, что под влиянием малоинтенсивного СВЧ-поля происходит нарушение функционального состояния центральной нервной системы, что приводит к изменению биоэлектрических процессов исследуемых структур головного мозга кроликов. В зависимости от интенсивности воздействия и от исходного функционального состояния нервной системы находятся не только степень возникающих нарушений, но и способность организма к развитию адаптационных реакций. Так, в наших исследованиях воздействие микроволн ППЭ 10 и 500 мкВт/см^2 вызывало противоположно направленные изменения электрической активности изучаемых отделов головного мозга. В первой серии (ППЭ — 10 мкВт/см^2) наблюдалась активация биопотенциалов, в третьей (ППЭ—500 мкВт/см^2) — угнетение электрических процессов. Во второй серии исследований (ППЭ — 50 мкВт/см^2) отмечались фазные сдвиги в частотном спектре ЭЭГ, которые характеризовались вначале активацией биотоков мозга, затем — некоторым восстановлением исходных показателей и при дальнейшем облучении — угнетением электрической активности исследуемых структур мозга.

Увеличение удельного веса ритмических колебаний в диапазоне альфа- и бета-волн на фоне угнетения низкочастотных дельта-волн можно объяснить активацией биоэлектрических процессов, связанной, по-видимому, с некоторым повышением возбудимости [1, 5, 11].

Подобную перестройку биопотенциалов головного мозга наблюдали исследователи, изучавшие нетепловое действие радиоволн различных параметров и отмечавшие особую роль центральной нервной системы в формировании реакций на электромагнитные поля [2, 7, 13].

По нашему мнению, электрическая реакция на СВЧ-поле представляет собой сумму двух ответов: во-первых, существуют локальные изменения биопотенциалов вследствие местного влияния поля; во-вторых, под действием поля происходит вторичное вовлечение в реакцию структур головного мозга. Есть основание предположить [9], что взаимодействие электрической составляющей СВЧ-поля с электрическими процессами, протекающими в самой нервной системе, приводит к изменению последних.

Изменение состояния нервных центров, отмечавшееся после первичной электрографической реакции и выражавшееся у одних животных в углублении активации биопотенциалов, у других — в частичном восстановлении фоновой активности, у третьих — в замедлении электрических колебаний мозга, можно трактовать как адаптационную перестройку центральной нервной системы к СВЧ-полю исследуемых ППЭ.

Наблюдаемое в наших опытах постепенное нарастание медленных высокоамплитудных дельта-волн через месяц от начала воздействия микроволн ППЭ 50 мкВт/см^2 и после 10—12 дней облучения ППЭ 500 мкВт/см^2 , очевидно, связано с развитием в различных отделах головного мозга процесса торможения.

В отношении дельта-волн большинство исследователей считают, что медленные потенциалы возникают в нервных центрах при развитии тормозных процессов. Они рассматривают дельта-волны как результат изменения поляризации пирамидных клеточных тел коры [3, 4]. Ройтбак [10] высказывает предположение, что длительные отрицательные потенциалы (т. е. дельта-волны) возникают при сильном прямом раздражении коры, и допускает участие нейроглии в их происхождении.

Исходя из результатов современных исследований, можно заключить, что основную роль в генерации корковых потенциалов спонтанной дельта-активности играют деполяризующие синапсы, расположенные в поверхностных слоях коры. Однако первичным очагом медленной активности считают таламус, откуда импульсы приходят к поверхностным слоям различных зон коры мозга, где они активируют деполяризующие синапсы, локализованные на разветвлениях апикальных дендритов пирамидных корковых нейронов. Наконец, не исключено участие в генерации дельта-волн и тормозных синапсов.

Дельта-ритм в наших исследованиях, видимо, запущен электрическим раздражением мозга, которое вторичным вовлечением включает таламическую систему, генерирующую его.

Большая часть афферентной информации, поступающей в кору, проходит через таламические ядра. Поэтому изменения нейронной активности в таламусе не могут не влиять на афферентацию коры. Кроме того, в генерацию дельта-ритма вовлекается целый ряд структур пирамидной и экстрапирамидной нисходящих систем.

Об изменении возбудимости в лабильности нервной системы при воздействии СВЧ-поля свидетельствуют также данные функциональной пробы, т. е. реакция усвоения ритма световых мельканий частотой 5, 8 и 12 Гц. Анализ полученных данных показывает, что у животных опытных групп до облучения и у кроликов контрольной группы структуры мозга лучше всего усваивают ритм световых раздражений частотой 5 Гц и только у некоторых животных наблюдались синхронные ответы на фотостимуляцию частотой 8 и 12 Гц, тогда как в период активации биопотенциалов, вызванной воздействием СВЧ-поля ППЭ 10 и 50 мкВт/см^2 , количество животных, усваивающих частоту 8 и 12 Гц, было значительно больше, чем до облучения и в контроле. Увеличение диапазона частот, усваиваемых структурами мозга, свидетельствует о

повышении возбудимости и лабильности нервных центров [6]. Наоборот, смещение спектра электрической активности действием СВЧ-поля ППЭ 50 и 500 мкВт/см^2 в сторону увеличения дельта-волн угнетало синхронные ответы нейронов и выраженность реакции усвоения ритма световых мельканий.

Различия в степени проявления изменений биоэлектрической активности исследуемых структур головного мозга могут объясняться разной подверженностью их влиянию СВЧ-поля изучаемого диапазона. Согласно имеющимся данным [14, 17], СВЧ-поля при длине волны 12,6 см могут проникать в глубину мозга не более чем на 1,0—1,2 см , что обеспечивает непосредственное воздействие электромагнитной энергии лишь на кору головного мозга кроликов. Влияние энергии поля на подкорково-стволовые отделы меньшее (ядра гипоталамуса у кроликов расположены на глубине 1,4—1,5 см). По данным Чиженковой [14], СВЧ-поля длиной волны 12,6 см не оказывали непосредственного влияния на ретикулярную формацию мозга кроликов. Возможно, поэтому степень нарушений подкорковых отделов головного мозга у кроликов (таламус и задняя доля гипоталамуса) в наших исследованиях была меньшей, чем в корковых зонах.

СВЧ-поле ППЭ 1 и 5 мкВт/см^2 не оказывает выраженного влияния на биоэлектрическую активность исследуемых структур головного мозга животных.

Л и т е р а т у р а

1. Бехтерева Н. П. К вопросу об электрографической характеристике основных нервных процессов.— Физиол. журн. СССР, 1971, 57, № 12, с. 1745—1761.
2. Бычков М. С., Дронов И. С. Электрографические данные об эффектах очень слабых воздействий микроволн на уровне системы ретикулярная формация среднего мозга—гипоталамус—кора больших полушарий.— Тр. лаб. ЭМП радиочастот Ин-та гиг. труда и профзаб. АН СССР Вып. 4. М., 1973, с. 58—60.
3. Гринявичус К., Гутман А., Милюкас В., Миляускас Р. Два подпроцесса в электрокортикограмме зрительной коры кролика и активность нейронов.— Журн. высш. нервн. деят., 1969, 19, № 1, с. 178—180.
4. Гутман А. М. Оценка величины электрокортикографических потенциалов.— Биофизика, 1969, 14, вып. 5, с. 891—895.
5. Еришова Л. К. Изучение влияния малоинтенсивных радиочастотных электромагнитных полей ВЧ и УВЧ диапазонов на центральную нервную систему: Автореф. дис. канд. биол. наук. Киев, 1972.— 19 с.
6. Копылов А. Г. Оценка функционального состояния головного мозга человека методом электроэнцефалографических кривых усвоения ритма.— В кн.: Вопросы теории и практики электроэнцефалографии. Л., 1956, с. 22—26.
7. Лобанова Е. А., Кицовская И. А. Исследование функционального состояния центральной нервной системы животных при воздействии микроволн.— Материалы Всесоюз. научн.—техн. симпозиума. Тез. докл., Ялта, 1975, с. 72—73.
8. Никонова К. В. Биоэффекты комбинированного действия микроволн с мягким рентгеновским излучением.— О биол. дейст. электромагнитных полей радиочастот. М., 1972, с. 9—10.
9. Пресман А. С. Электромагнитные поля и живая природа.— М.: Наука, 1968.— 228 с.
10. Ройтбак А. И., Кашакашвили Р. П. Влияние кофеина на дендритные потенциалы коры головного мозга кошки.— Физиол. журн. СССР, 1970, 56, № 6, с. 825—832.
11. Русинов В. С. Электрофизиологические исследования очагов возбуждения в центральной нервной системе.— Журн. высш. нервн. деят., 1965, 13, № 5, с. 798—815.
12. Холодов Ю. А. Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему.— М., 1966.— 283 с.
13. Холодов Ю. А. Реакции центральной нервной системы на электромагнитные поля.— М.: Наука, 1975.— 144 с.
14. Чиженкова Р. А. Исследование роли специфических и неспецифических образований в электрических реакциях головного мозга кролика, вызываемых электромагнитными полями УВЧ и СВЧ и постоянным магнитным полем: Автореф. дис. канд. мед. наук. М., 1966.— 26 с.
15. Albert E. N., De Santis M. Do microwaves alter nervous system structure? In: Biologic effects of nonionizing radiation.— Ann. N. Y. Acad. sci., 1975, p. 87—108.

16. Hees R. Cortical and subcortical recordings in natural and artificially induced sleep in cat.—EEG Clin. Neurophysiol., 1963, p. 5—8.
17. Fleming S., Pinneo L. Microwave radiation to biological systems and neural activity. In: Biological effects of microwave radiation. Plenum Press, 1964, N 4, p. 229—232.
18. Fijcowa E., Marsala G. Stereotaxic podčoro nych struktur mozku krysy, kralika, a kocky.—Statni zdravotnicke nakladatelstvi, Praha, 1960, 116 p.

Киевский институт
общей и коммунальной гигиены

Поступила в редакцию
16.XI 1977 г.

L. K. Ershova, M. I. Rudnev

CHANGES OF BIOLOGICAL ACTIVITY OF CERTAIN RABBIT BRAIN STRUCTURES UNDER THE EFFECT OF MICROWAVES

Summary

Biological action of electromagnetic SHF-energy (a frequency of 2375 ± 50 MHz and an energy flux density (EFD) of 1, 5, 10, 50, 500 $\mu\text{V}/\text{cm}^2$) was studied in the experiment on rabbits. The irradiation was performed by the distance method in the anechoic chambers. The results of the studies showed that the action of microwave radiation at an EFD of 10, 50 and 500 $\mu\text{V}/\text{cm}^2$ during 3 months of irradiation for 7h per day was accompanied by considerable changes in the bioelectrical activity of the cortex and subcortical structures of the animal brain. It is established that in the initial period of radiation SHF-energy at an EFD of 10 and 50 $\mu\text{V}/\text{cm}^2$ stimulates the brain biopotentials and at an EFD of 500 $\mu\text{V}/\text{cm}^2$ inhibits the electric processes of the rabbit brain areas under study.

Institute of General and Municipal Hygiene,
Kiev