

УДК 612.822:577.359

**ПЕРЕСТРОЙКИ ПАЧЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ
КОРКОВЫХ НЕЙРОНОВ ПРИ СВЧ ОБЛУЧЕНИИ (0.2-0.3 МВТ/СМ²):
ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ЕЕ ИСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК****Чиженкова Р.А.***Институт биофизики клетки РАН, Пущино, e-mail: chizhenkova@mail.ru*

На бодрствующих необездвиженных кроликах исследованы структурные особенности импульсных потоков популяций нейронов сенсомоторной области коры до, во время и после одноминутного облучения ЭМИ СВЧ диапазона (длина волны 37.5 см, ППЭ 0.2-0.3 мВт/см²) на основе анализа пачечной активности, выявляемой при временных порогах 5, 10 и 20 мс. Выбранные пороги позволяли определять разные виды пачечной активности. В результате данных воздействий происходили статически достоверные изменения со стороны чисел всплесков пачечной активности. Реорганизация импульсных потоков нейронных корковых популяций отмечалась во время облучения и в первую минуту после его прекращения. Выявлены различные перестройки пачечной активности указанных типов по их направленности и интенсивности. Кроме того, установлена зависимость изменений количественных показателей пачечной активности в нейронных популяциях сенсомоторной области коры от исходного фона их характеристик.

Ключевые слова: СВЧ облучение, кора больших полушарий, нейронная активность**REARRANGEMENT OF BURST ACTIVITY OF CORTICAL
NEURONS FOR MICROWAVE RADIATION (0.2-0.3 MBT/CM²):
DEPENDENCE ON ITS STARTING BACKGROUND ACTIVITY****Chizhenkova R.A.***Institute of Cell Biophysics RAS, Pushchino, e-mail: chizhenkova@mail.ru*

In unanesthetized nonimmobilized rabbit structural features of pulse flows of neuronal populations of sensorimotor region of the neocortex were investigated prior, during, and after 1-min microwave irradiation (wavelength 37.5 cm, power density 0.2-0.3 mW/cm²) on the basis of the analysis of burst activity identified by means of time levels 5, 10, and 20 ms. Chosen time levels allowed to determine different kinds of burst activity. Statistically certain changes of the number of the spike bursts resulted from these exposures. Reorganizations of pulse flows of neuronal cortical populations took place during irradiation and first minute after its cessation. Different rearrangements of spike burst activity of indicated kinds were found for direction and intensity. Besides dependence of changes of quantitative indices of bursts activity in neuronal populations of the neocortex on starting background peculiarity of its characteristics was revealed.

Keywords: microwaves, the neocortex, neuronal activity

Особый интерес при изучении биологических эффектов неионизирующей радиации представляет анализ ее влияния на деятельность головного мозга. В наших приоритетных исследованиях на основе операционных вмешательств и регистрации потенциалов от разных структур головного мозга было доказано, что ведущую роль в генезе электрических реакций мозга на действие электромагнитных полей различных частот (в том числе и СВЧ), а также магнитных полей играет прямое влияние этих проникающих факторов на его структуры [1].

Работы относительно воздействия СВЧ облучения на деятельность центральных нейронов весьма немногочисленны [6]. Причем наши исследования и в данном отношении являются также приоритетными. [2, 7]. История вопроса подробно изложена в соответствующих наших публикациях [6, 8-10].

В наших исследованиях впервые было обнаружено, что неионизирующее облуче-

ние в принципе приводит к некоторым колебаниям частоты фоновой активности одиночных нейронов коры больших полушарий, которые весьма неотчетливы по сравнению с выраженными изменениями вызванной активности [2, 7]. В связи с этим вполне логично было принято решение в дальнейшем подвергать изучению импульсные потоки популяций нейронов, поскольку доказано, что в импульсных потоках нейронных популяций нивелируются случайные флуктуации и подчеркиваются доминирующие перестройки активности нейронов [3, 4]. Вариабельность нейронной активности преодолевается в деятельности мозга за счет усреднения по ансамблю нейронов. Такой подход позволил обнаружить, что СВЧ облучение вызывает не столько частотные изменения, сколько структурные перестройки фоновых импульсных потоков нейронов [6, 8-10]. Наибольший интерес в этих исследованиях представляет пачечная активность, которая непосредственно связана с функци-

онированием определенных нейронных контуров («neuronal circuits»).

Цель настоящей работы заключалась в выяснении возможной зависимости перестроек пачечной активности популяций нейронов коры больших полушарий от их исходных характеристик при СВЧ облучении низкой интенсивности 0.2-0.3 мВт/см².

Материалы и методы исследования

Эксперименты были проведены на 36 необезвуженных ненаркотизированных кроликах (самцах) новозеландской породы массой около 3 кг с предварительно вживленными отводящими электродами под барбитуратовым наркозом в сенсомоторную область коры на глубину 750-1500 мкм. Как и в предыдущих наших исследованиях, электродами служили стеклянные микропипетки с диаметром кончика 20 мкм, заполненные 1%-ным агар-агаром на физиологическом растворе. Эксперименты были проведены в соответствии с рекомендациями по этике работы с животными, предложенными European Communities Council Directive (86/609 ЕЕС).

СВЧ облучение осуществляли с длиной волны 37.5 см (800 МГц) в течение 1 мин. Воздействию подвергали преимущественно голову животного. Вектор E соответствовал передне-заднему направлению. Использовали непрерывный режим облучения. Интенсивность поля была 0.2-0.3 мВт/см². В контрольных исследованиях осуществляли так называемые «ложные» облучения.

Компьютерному анализу подвергали три одноминутных отрезка записи импульсных потоков нейронов: до облучения, во время него и непосредственно после. Эпоха анализа составляла 20 с. Использовали три временных окна выделения пачечной активности: 5, 10 и 20 мс. Как объединения в пачки учитывались спайки в первом случае при длительности межспайковых интервалов до 5 мс, во втором до 10 мс и в третьем до 20 мс. Поскольку выбор межспайковых интервалов отражался на длительности самих пачек, их соответствующие можно определить как короткие, средние и крупные. Такой унифицированный способ был необходим для правомерности сравнения данных, полученных до, во время и после облучения, и для последующего обобщения результатов.

Стандартные отклонения средних величин числа вспышек пачечной активности вычисляли на основе дисперсий. Достоверность изменений числа пачек во время и после облучения относительно исходных величин определяли на основе критерия Вилкоксона для сопряженных пар. Сопоставление чисел записей нейронной активности с той или другой направленностью изменений проводили на основе t – критерия для сравнения выборочных долей вариант.

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальный материал включает результаты анализа 75 3-минутных отрезков импульсных потоков нейронов (до, во время и после СВЧ облучения). В исходных импульсных потоках число вспышек пачечной активности, выявляемой на основе временного порога 5 мс, за минуту составляло 1228.11 ± 31.22 . При использовании

порога 10 мс оно было 818.12 ± 28.13 , а при пороге 20 мс – 269.52 ± 17.03 .

Одноминутное СВЧ облучение интенсивностью 0.2-0.3 мВт/см² приводило к изменению количественных показателей пачечной активности. Особенности эффектов определялись выбранными порогами выделения пачечной активности. Полученные сведения сгруппированы в трех таблицах. В табл. 1 приведено сравнение чисел пачек во время облучения и в первую минуту после его прекращения с исходными значениями. В табл. 2 отражено сопоставление чисел записей нейронной активности с той или иной направленностью изменений. В табл. 3 представлены значения выборочного коэффициента корреляции средних чисел вспышек пачечной активности за минуту регистрации во время СВЧ облучения и после него с соответствующими величинами до воздействия.

СВЧ облучение использованной интенсивности приводило к достоверным изменениям чисел вспышек пачечной активности, что показано в табл. 1.

Таблица 1

Влияние одноминутного СВЧ облучения на среднее число вспышек пачечной активности исследованных типов

Порог выделения пачек	Отношение значений к данным до облучения			
	Во время облучения		После облучения	
	%	p	%	p
5 мс	106.14	< 0.05	118.19	< 0.01
10 мс	85.13	< 0.01	84.18	< 0.01
20 мс	65.37	< 0.01	65.75	< 0.01

Как следует из табл. 1, облучение вызывало увеличение среднего числа малых пачек (порог выявления 5 мс), что в большей степени было представлено после воздействия. Одновременно развивалось выраженное уменьшение среднего числа средних пачек (порог выявления 10 мс) и особенно наиболее крупных (порог выявления 20 мс) как во время воздействия, так и после его прекращения (табл. 1).

Разумеется, числа вспышек пачечной активности во время и после облучения определялись не только последним. Они были связаны с неучитываемыми иными факторами внешней среды, с внутренними колебаниями функционального состояния, а также с исходными параметрами самой нейронной активности. Поэтому, помимо средних суммарных величин анализируемых показателей было целесообразно рассмотреть изменения чисел пачек в каждой конкретной записи. Результаты данного анализа приведены в табл. 2.

Таблица 2

Число записей импульсных потоков в процентах с количественными изменениями вспышек пачечной активности исследованных типов при влиянии одноминутного СВЧ облучения

Порог выделения пачек	Отношение значений к данным до облучения					
	Во время облучения			После облучения		
	Увеличение, %	Уменьшение, %	Сравнение, <i>U</i>	Увеличение, %	Уменьшение, %	Сравнение, <i>U</i>
5 мс	56.00	44.00	1.47	68.00	32.00	4.51
10 мс	29.33	70.67	5.22	26.67	73.33	5.95
20 мс	17.33	82.67	8.72	21.33	78.67	7.48

Примечание. Статистически достоверные различия чисел случаев с увеличением и уменьшением значений подчеркнуты ($p < 0.01$).

Сопоставление чисел записей нейронной активности с той или иной направленностью изменений в результате облучения показало статистически значимое доминирование случаев с увеличением числа малых пачек (порог выявления 5 мс) после воздействия. Одновременно возникало статистически значимое преобладание случаев с уменьшением числа более крупных пачек во время и после воздействия (табл. 2).

Индивидуальные сведения, полученные для каждой записи нейронной активности позволили оценить роль исходных показателей в количественном изменении разных видов пачек при облучении, что отражено в табл. 3.

Таблица 3

Значения выборочного коэффициента корреляции средних чисел вспышек пачечной активности во время одноминутного СВЧ облучения и после него с соответствующими величинами до воздействия

Порог выделения пачек	Отношение значений к данным до облучения			
	Во время облучения		После облучения	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
5 мс	0.32	< 0.01	0.33	< 0.01
10 мс	-0.22	> 0.05	-0.23	< 0.05
20 мс	-0.41	< 0.01	-0.42	< 0.01

Несомненно, имеет место зависимость описанных перестроек с исходным состоянием фоновой активности. При этом представляет интерес факт неоднозначности корреляционной взаимосвязи чисел разных видов пачечной активности во время и после облучения с исходными показателями. Что касается малых пачек (порог выявления 5 мс), то существует положительная корреляция их числа во время и после облучения с их числом до облучения.

У относительно крупных пачек (порог выявления 20 мс) имеет место противоположная ситуация. Число средних пачек (порог 10 мс) обладает низкой зависимостью от исходных фоновых величин.

Таким образом, в данной работе получены доказательства наших предыдущих предположений, что влияние СВЧ облучения на головной мозг даже при небольшой интенсивности (0.2-0.3 мВт/см²) приводит прежде всего не к изменению неких усредненных частотных показателей нейронной активности, а к внутренней перестройке структуры импульсных потоков. Кроме того, выявлена специфичность отклонений количественных показателей пачечной активности различных типов в результате облучения. При этом обнаружено наличие неоднозначной зависимости перестроек импульсных потоков нейронов от исходных характеристик фоновой активности.

Надо полагать, что особенности количественных изменений разных видов пачечной активности при облучении обуславливаются сложной структурой самих вспышек пачечной активности и организацией крупных пачек посредством объединения мелких.

Специального внимания заслуживает сам объект проведения исследований. Вспышки пачечной активности представляют мало изученные, но тем не менее очень важные компоненты импульсных потоков нейронов. Пачечная активность формируется в нейронных популяциях за счет деятельности «neuronal circuits». Ранее рассмотрение рисунка импульсных потоков нейронных популяций сенсомоторной коры мы уже применяли для анализа интегративных свойств популяций корковых нейронов [3, 4] еще до всеобщего признания связи когнитивных функций с деятельностью

последних. Описанные здесь нейронные события могут служить основой для возникновения сдвигов когнитивных функций при неионизирующем облучении.

Повсеместное распространение антропогенных источников неионизирующего излучения в наши дни породило ряд новых проблем, связанных с возникновением неблагоприятного окружения, а также с возможностью их терапевтического использования. Как показали наши библиометрические исследования публикаций по биологическому действию данных факторов, вышло в свет 1.5 миллиона таковых за последнюю треть прошлого столетия [5]. Тем не менее, к сожалению, фундаментальным исследованиям деятельности мозга при облучении уделяется пока малое внимание.

Список литературы

1. Чиженкова Р.А. Исследование роли специфических и неспецифических образований в электрических реакциях мозга кролика, вызываемых электромагнитными полями УВЧ и СВЧ и постоянным магнитным полем: Автореф. дис. канд. мед. наук. – М., 1966. – 22 с.
2. Чиженкова Р.А. Фоновая и вызванная активность нейронов интактной коры кроликов после воздействия полем СВЧ // Журн. высш. нервн. деят-ти. – 1969 – Т. 19. – № 3. – С. 495-501.
3. Чиженкова Р.А. Структурно-функциональная организация сенсомоторной коры (морфологический, электрофизиологический и нейромедиаторный аспекты). – М.: Наука, 1986. – 241 с.
4. Чиженкова Р.А. Электрические следовые процессы в нейронных популяциях сенсомоторной коры: Автореф. дис. док. мед. наук. – М., 1991. – 30 с.
5. Чиженкова Р.А. Динамика нейрофизиологических исследований действия неионизирующей радиации во второй половине XX-ого века. – М.: Изд. дом Академии Естествознания, 2012. – 88 с.
6. Чиженкова Р.А. Импульсные потоки популяций корковых нейронов при низкоинтенсивном импульсном СВЧ-облучении: межспайковые интервалы // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2014. – Т. 54. – № 4. – С. 393-404.
7. Chizhenkova R.A. Slow potentials and spike unit activity of the cerebral cortex of rabbits exposed to microwaves // Bioelectromagnetics. – 1988. – V. 9. – No. 4. – P. 337 – 345.
8. Chizhenkova R.A. Pulse activity of populations of cortical neurons under microwave exposures of different intensity // Bioelectrochemistry. – 2004. – V. 63. – No. 1/2. – P. 343-346.
9. Chizhenkova R.A. Impulse trains generated by populations of cortical neurons of rabbits exposed to low-intensity extrahigh-frequency electromagnetic radiation: bursting activity // Neurophysiology. – 2008. – V. 40. – No. 5/6. – P. 350-357.
10. Chizhenkova R.A. Flows of populations of cortical neurons under microwave irradiation; burst activity // Biophysics. – 2010. – V. 55. – No. 6. – P. 1085-1093.