

2. Фридман А.Я. Ситуационный подход к моделированию промышленно-природных комплексов и управлению их структурой // Идентификация систем и задачи управления: труды IV международной конференции (Москва, 25-28 января 2005 г.). – М.: ИПУ РАН, 2005. С. 1075-1108.
3. Фридман А.Я., Яковлев С.Ю. Ситуационный подход к синтезу логической модели надежности и безопасности промышленно-природных комплексов // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: труды Международной научной школы МА БР - 2003 (Санкт-Петербург, 20-23 августа, 2003г.). – СПб.: СПбГУАП, 2003. С. 375-381.
4. Деруссо П., Рой Р., Клоуз М. Пространство состояний в теории управления. – М.: Наука, 1970. – 620 с.
5. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
6. Путилов В.А., Фильчаков В.В. Фридман А.Я. CASE-технологии вычислительного эксперимента. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. Т.1 – 249 с. ; Т.2. – 169 с.
7. Салуквадзе М.Е. Задачи векторной оптимизации в теории управления. – Тбилиси: Мецниереба, 1975. – 202 с.
8. Mahajan R. and Sneiderman B. Visual and textual consistency checking tools for graphical user interfaces. // IEEE Transactions on Software Engineering. Nov 97. P. 722-735.
9. Инструментальная система поддержки вычислительного эксперимента / Олейник А.Г., Смагин А.В., Фридман А.Я., Фридман О.В. // Программные продукты и системы. 1999. № 2. С. 7-13.
10. Forrester Jay W. Industrial Dynamics – A Major Breakthrough for Decision Makers // Harvard Business Review. 1958. Vol. 36. No. 4. P. 37-66.
11. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

Expertspaceforsituationalmodellingofindustry-naturalcomplexes

*Alexander Yakovlevich Fridman, Dr. Sci. (Tech.), leading scientific researcher
Institute for Informatics and Mathematical Modelling of RAS*

A metric is proposed for a generalized state space that incorporates both string and numerical variables. The metric is used for situational modelling of static and dynamic parameters of industry-natural complexes including safety dimensions. The metric provides application of expert knowledge regarding danger degrees for different states of the object under investigation.

Keywords: dynamic spatial object, situational control, conceptual model, situational modelling, decision making

УДК 612.822:577.359

РОЛЬ ФОНА В ИЗМЕНЕНИИ МЕЖИМПУЛЬСНЫХ ИНТЕРВАЛОВ НЕЙРОНОВ ПРИ СВЧ ОБЛУЧЕНИИ

Рогнеда Александровна Чиженкова, докт.мед.наук, вед.науч.сотр.

Тел.: 4967739196; e-mail: chizhenkova@mail.ru

Институт биофизики клетки РАН

http://www.icb.psn.ru

На бодрствующих необездвиженных кроликах исследованы импульсные потоки популяций корковых нейронов сенсомоторной коры до, во время и после одноминутного СВЧ облучения (длина волны 37,5 см, ППМ 0,2-0,3; 0,4; 0,5 и 40 мВт/см²). Изменения межспайковых интервалов определялись интенсивностью излучения и не зависели от исходной фоновой активности.

Ключевые слова: СВЧ облучение, кора больших полушарий, нейронная активность

На основе анализа биопотенциалов различных структур мозга и операционных вмешательств нами впервые было доказано, что лидирующее значение в происхождении электрических реакций мозга на неионизирующее облучение разных диапазонов, в том числе и СВЧ, принадлежит прямому влиянию проникающих факторов на его структуры, в особенности на кору больших полушарий [1-4]. Относительно воздействия неионизирующего облучения на деятельность центральных нейронов млекопитающих существуют весьма немногочисленные работы. При этом наши исследования являются приоритетными. История данной области знания подробно рассмотрена в ряде наших статей [5-7] и нашей монографии [8].



Р.А. Чиженкова

В наших исследованиях впервые было обнаружено, что при действии неионизирующего излучения возможны некоторые колебания частоты фоновой активности одиночных нейронов коры больших полушарий. Тем не менее, эти отклонения весьма неотчётливы несмотря на выраженные изменения вызванной активности [9, 10]. Поэтому нам в дальнейшем пришлось перейти к изучению импульсных потоков популяций нейронов, поскольку известно, что в импульсных потоках нейронных популяций нивелируются случайные флуктуации и подчёркиваются доминирующие перестройки в активности нейронов [11-13]. При этом был сделан акцент на анализе межимпульсных интервалов, который является более информативным, чем рассмотрение средней частоты импульсации нейронов [14].

Было установлено, что действительно неионизирующее облучение, в частности СВЧ диапазона, вызывает значительные перестройки характеристик межимпульсных интервалов в импульсных потоках популяций корковых нейронов. Выраженность и направленность эффектов была неоднозначна при разных интенсивностях облучения [5-7, 15-17].

Цель настоящей работы заключалась в выяснении возможной зависимости особенностей изменений межимпульсных интервалов в результате СВЧ облучения от их исходных характеристик фоновой активности.

Материалы и методика

Эксперименты были проведены на 36 необездвиженных ненаркотизированных кроликах (самцах) новозеландской породы массой около 3 кг с предварительно вживлёнными отводящими электродами под барбитуратовым наркозом в сенсомоторную область коры на глубину 750-1500 мкр. 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 EEC).

СВЧ облучение осуществляли с длиной волны 37.5 см (800 МГц) в течение 1 мин. Воздействию подвергали преимущественно голову животного. Вектор E соответствовал переднезаднему направлению. Использовали непрерывный режим облучения. Интенсивность поля была 0.2-0.3; 0.4; 0.5 и 40.0 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. Выделение импульсных рядов, принадлежащих отдельным нейронам, не входило в задачу данной работы. Импульсная активность одиночных нейронов при данном облучении описана нами ранее [9, 10]. Эпоха анализа составляла 20 с. Определяли числа межимпульсных интервалов, средние величины межимпульсных интервалов, их средние

квадратичные отклонения и стандартные отклонения средних значений, а также вычисляли коэффициенты вариации [18].

При статистическом анализе полученного материала использовали критерий Стьюдента для сравнения средних величин межимпульсных интервалов и критерий Фишера для сравнения дисперсий до, во время и после облучения в пределах одной записи. Достоверность различий средних величин указанных показателей до облучения, во время него и после его прекращения по всему материалу каждой серии исследований определяли посредством критериев «Хи-квадрат» и Уайта-Фишера.

Взаимосвязь статистических совокупностей показателей во время и после облучения с исходными параметрами, а также соотношение средних величин межимпульсных интервалов со средними квадратичными отклонениями рассматривали посредством корреляционного анализа и на основе вычисления ряда функций, аппроксимированных по методу наименьших квадратов [19]. Для всех исследованных зависимостей применяли единый набор программ, включавший вычисление несколько регрессий - линейной, экспоненциальной и геометрической. Сравнение теоретических и экспериментальных данных осуществляли на основе критериев «Хи-квадрат» и Уайта-Фишера.

Результаты и обсуждение

Экспериментальный материал включает результаты анализа 318 3-минутных отрезков импульсных потоков нейронов. Из них 248 было записано при СВЧ облучении: 70 из них с интенсивностью 0.2-0.3 мВт/см², 68 с интенсивностью 0.4 мВт/см², 70 с интенсивностью 0.5 мВт/см² и 40 с интенсивностью 40.0 мВт/см². 70 записей было проведено в аналогичных условиях, но при отсутствии самого облучения («ложные» облучения)..

Средний межимпульсный интервал за 1 мин. записи нейронной активности составлял от 7.40 до 28.10 мс. Импульсные потоки, по-видимому, были весьма нестационарны, поскольку среднее квадратичное отклонение имело большие величины (от 8.68 до 43.54 мс). Однако в связи с очень большими объёмами вариационных рядов (число интервалов, приходящихся на минуту регистрации, составляло от 2135 до 8108), стандартные отклонения средних величин межимпульсных интервалов были весьма малы (от 0.11 до 1.09 мс).

Основные характеристики импульсной активности одиночных нейронов сенсомоторной коры, а также их популяций, и особенности архитектуры данной корковой области нами уже описаны [11]. Рисунок импульсных потоков нейронов коры обладает довольно сложной структурой [11, 12]. Здесь представлены результаты анализа лишь одного его аспекта - средней величины межимпульсных интервалов.

Суммарные результаты по влиянию СВЧ облучения использованных интенсивностей на исследуемые показатели импульсных потоков, а также данные контрольных исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние СВЧ облучения разной интенсивности на средние величины межспайковых интервалов и их коэффициенты вариации (процентное отношение значений к соответствующим данным до облучения)

Показатели	Контроль	Интенсивность облучения, мВт/см ²			
		0.2-0.3	0.4	0.5	40.0
Во время облучения					
Межспайковые интервалы	101.0	<u>86.6</u>	<u>96.4</u>	<u>106.5</u>	<u>109.7</u>
Коэффициенты вариации	101.5	<u>133.8</u>	<u>142.4</u>	<u>139.5</u>	<u>152.2</u>
После облучения					
Межспайковые интервалы	100.5	<u>77.3</u>	<u>98.2</u>	<u>111.6</u>	<u>109.6</u>
Коэффициенты вариации	100.6	<u>157.7</u>	<u>142.9</u>	<u>165.3</u>	<u>144.2</u>

Примечание: статистически достоверные отклонения показателей подчеркнуты.

Из табл. 1 следует, что СВЧ облучение вызывает статистически достоверные изменения величин межспайковых интервалов в импульсных потоках нейронных популяций. Выраженность и направленность сдвигов зависит от его интенсивности. Особый интерес представляет факт принципиально различных перестроек импульсных потоков при низких и относительно высоких интенсивностях СВЧ облучения. Некоторые описания характеристик этих нейронных реакций изложены в другой нашей статье [5].

Исследование зависимости перестроек импульсных потоков в результате СВЧ облучения от характера их фона до облучения было проведено посредством корреляционного анализа. Обнаружено наличие положительной взаимосвязи изучаемых показателей перед облучением, во время него и после его прекращения (коэффициент корреляции от 0.7 до 0.9; $p < 0.01$). Это свидетельствует о малой роли исходных значений в направленности изменений при облучении в данных исследованиях.

Зависимость перестроек импульсных потоков при СВЧ облучении использованных режимов от характера фона до облучения также определялась на основе модельного подхода. Данный анализ позволил выяснить, что наиболее адекватным описанием является линейная функция, коэффициенты в которой определялись преимущественно интенсивностью облучения. Свободный член линейной функции в этих материалах стремился к «0», а коэффициент, имел различные значения для разных интенсивностей облучения. Величины последнего при использованных экспериментальных условиях представлены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты линейных регрессий, описывающих зависимости характеристик импульсных потоков при СВЧ облучении от исходных параметров

Показатели	Конт-роль	Интенсивность облучения, мВт/см ²			
		0.2-0.3	0.4	0.5	40.0
Во время облучения					
Межспайковые интервалы	1.01	0.88	0.94	1.05	1.06
Коэффициенты вариации	1.01	0.86	0.97	1.07	1.05
После облучения					
Межспайковые интервалы	0.99	0.79	0.99	1.08	1.06
Коэффициенты вариации	0.99	0.74	1.02	1.24	1.05

Из табл. 2 видно, что имеют место существенные различия в величинах коэффициентов линейной регрессии при разных интенсивностях СВЧ облучения. Выявленный факт подтверждает наличие противоположной направленности изменений импульсных потоков нейронных популяций при низких и относительно высоких интенсивностях СВЧ облучения.

Автор считает, что новизна данной работы заключается в следующих моментах. Во-первых, получены доказательства наших предыдущих предположений, что действительно характеристики перестроек импульсных потоков популяций корковых нейронов при одноминутном СВЧ облучении обуславливаются преимущественно его интенсивностью. Во-вторых, установлено отсутствие линейности в соотношении параметров облучения и наблюдаемых эффектов. В-третьих, обнаружено также отсутствие существенной зависимости типа изменений импульсных нейронных потоков в результате СВЧ воздействия от исходных параметров межимпульсных интервалов.

Особый интерес представляет и сам выбранный в нашей работе объект исследования - импульсные потоки популяций корковых нейронов. Именно они отражают деятельность «neuronal circuits», на которых базируются когнитивные функции. Ранее рассмотрение рисунка импульсных потоков нейронных популяций мы уже применяли для анализа интегративных свойств популяций корковых нейронов [20-24] еще до всеобщего признания связи когнитивных функций с деятельностью последних. В данном

случае описанные нейронные события могут служить основой для возникновения сдвигов когнитивных функций при неионизирующем облучении [8].

В последние годы в связи с техническим прогрессом чрезвычайно возросла возможность контактов с неионизирующей радиацией, что следует рассматривать как существенную опасность. Поэтому в настоящее время исследование событий, протекающих в нейронных популяциях коры больших полушарий весьма актуально для выяснения нейрофизиологического механизма организации реакций организма на действие неионизирующего излучения.

Литература

1. Чиженкова Р.А. Изменения ЭЭГ кролика при действии постоянного магнитного поля // Бюлл. эксперим. биол. и мед. 1966. Т. 61. № 6. С. 11-15.
2. 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.: Инст. высш. нервн. деят-ти и нейрофизиологии АН СССР, 1966. – 22 с.
3. Чиженкова Р.А. Роль различных образований головного мозга в электроэнцефалографических реакциях кролика на постоянное магнитное поле и электромагнитные поля УВЧ и СВЧ // Журн. высш. нервн. деят-ти. 1967. Т. 17. № 2. С. 313-321.
4. Чиженкова Р.А. Биопотенциалы головного мозга кролика при воздействии электромагнитными полями // Физиол. журн. СССР. 1967. Т. 53. № 5. С. 514-519.
5. Чиженкова Р.А. Импульсные потоки популяций корковых нейронов при СВЧ облучении: межспайковые // Радиационная биология. Радиоэкология. 2001. Т. 41. № 6. С. 706-711.
6. Чиженкова Р.А. Импульсные потоки популяций нейронов коры больших полушарий при СВЧ облучении низкой интенсивности // Биофизика. 2003. Т. 48. № 3. С. 538-545.
7. Chizhenkova R.A. Pulse activity of populations of cortical neurons under microwave exposures of different intensity // Bioelectrochemistry. 2004. V. 63. № 1/2. P. 343-346.
8. Чиженкова Р.А. Динамика нейрофизиологических исследований действия неионизирующей радиации во второй половине XX-ого века. – М.: Изд. дом Академии Естествознания, 2012. – 88 с.
9. 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.
10. Chizhenkova R.A. Slow potentials and spike unit activity of the cerebral cortex of rabbits exposed to microwaves // Bioelectromagnetics. 1988. V. 9. № 4. P. 337 – 345.
11. Чиженкова Р.А. Структурно-функциональная организация сенсомоторной коры (морфологический, электрофизиологический и нейромедиаторный аспекты). – М.: Наука, 1986. – 241 с.
12. Chizhenkova R.A., Chernukhin V.Yu. Nonlinear relations between some parameters of the pattern of pulse flows of cortical neurons // J. biological Physics. 2000. V. 26. No. 1. P. 65-73.
13. Dormont, J. Motor commands in the ventrolateral thalamic nucleus: neuronal variability can be overcome by ensemble average / J. Dormont, A. Schmied, H. Conde // Exp. Brain Res. 1982. V. 48. No. 3. P. 315-322.
14. Johnson, J.L. Discharge frequencies and intervals between pulse: are they always the same? // Brain Res. 1994. V. 666. No.1. P.125-127.
15. Chizhenkova, R.A. Effect of low-intensity microwaves on the behavior of cortical neurons / R.A. Chizhenkova, A.A. Safroshkina // Bioelectrochemistry and Bioenergetics. 1993. V. 30. No.1. P. 287-391.
16. Chizhenkova, R.A. Electrical reactions of the brain to microwave irradiation / R.A. Chizhenkova, A.A. Safroshkina // Electro- and Magnetobiology. 1996. V. 15. No. 3. P. 253-258.
17. Чиженкова, Р.А. Математический анализ межспайковых интервалов в импульсных потоках популяций корковых нейронов при СВЧ облучении // Моделирование неравновесных систем: материалы XIII Всероссийского семинара (2010) / ред. В.В. Слабко. – Красноярск: ИВМ СО РАН, 2010. С. 225-229.
18. Урбах В.Ю. Математическая статистика для биологов и медиков. – М.: АН СССР, 1963. – 323 с.

19. Гуревич В.Л., Карпов А.П. Многомерный статистический анализ в медицине. – Свердловск: Урал.науч. Центр, 1983. – 106 с.
20. Чиженкова Р.А. Исследование временной связи в модельной ситуации на клеточных популяциях сенсомоторной коры: препринт. – Пушкино: НЦБИ АН ССР, 1975.– 13 с.
21. Чиженкова Р.А. Формирование временной связи в модельных ситуациях на нейронных популяциях коры больших полушарий // В: Физиологические и биохимические исследования памяти / ред. Е.А. Громова.– Пушкино: НЦБИ АН ССР, 1977. С. 85-96.
22. Чиженкова Р.А. Организация нейронных реакций в сенсомоторной коре при сочетании раздражений структур мозга // Журн. высш. нервн. деят-ти. 1977. Т. 27. № 6. С. 1179-1187.
23. Чиженкова Р.А. Организация следовых явлений в клеточных популяциях сенсомоторной коры // Успехи физиол. наук. 1981. Т. 12. № 3. С. 103-130.
24. Чиженкова Р.А. Электрические следовые процессы в нейронных популяциях сенсомоторной коры: автореф. дис. ... док.мед. наук. – М.: Инст. высш. нервн. деят-ти и нейрофизиологии РАН, 1991. – 30 с.

The role of background activity in changes of interspike intervals of neurons under microwaves

Rogneda Aleksandrovna Chizhenkova, doctor of medicine, leading research worker
Institute of Cell Biophysics of Russian Academy of Sciences

In unanesthetized nonimmobilized rabbit pulse flows of populations of cortical neurons were investigated prior, during, and after 1-min microwave irradiation (wavelength 37.5 cm, power density 0.2-0.3; 0.4; 0.5; and 40 mW/cm²). Changes of interspike intervals depended on intensity of irradiation, but not background activity.

Keywords: microwaves, the neocortex, neuronal activity

УДК 517+518.392

ОСОБЕННОСТИ АСИМПТОТИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНЫХ КВАДРАТУРНЫХ ФОРМУЛ В ПРОСТРАНСТВАХ $L_1^{(m)}[a, b]$

Лариса Владимировна Шатохина, к.ф.-м.н., доцент

Тел.: 8 923 2897617, e-mail: slv63@bk.ru; ymi@sibstu.kts.ru

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет»

www.sibstu.kts.ru/fak/lif/kaf/kvmi

В статье исследуются квадратурные формулы с пограничным слоем для пространств функций $L_1^{(m)}[a, b]$. Для случаев пространств $L_1^{(m)}[a, b]$ ($m = 1, m = 2, m = 3$) приводятся асимптотически оптимальные и оптимальные квадратурные формулы с пограничным слоем, и описываются их некоторые свойства.

Ключевые слова: формулы приближенного интегрирования, решетчатые квадратурные формулы с пограничным слоем, усложненные формулы прямоугольников, трапеций, формулы Грегори, функционалы ошибок, норма функционала, асимптотически оптимальные формулы

Теория приближенного интегрирования является развитым разделом вычислительной математики. Результаты проведенных исследований относятся к тематике построения асимптотически оптимальных последовательностей квадратурных формул для пространства функций $L_1^{(m)}[a, b]$ и выявления их особенностей. Методы исследований и доказательств установленных результатов основываются на функциональном подходе к изучению и построению квадратурных формул, и взяты из работ Никольского С. М. [1], Крылова В. И. [2] и Половинкина В. И. [3]. Подынтегральные функции объединены в банахово пространство, а разность между интегралом и приближающей его комбинацией значений



Л.В. Шатохина