

**Р.А. Чиженкова***Институт биофизики клетки РАН, Россия, Московская область, г. Пущино  
[chizhenkova@mail.ru](mailto:chizhenkova@mail.ru)*

## ГЛИАЛЬНЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ В КОРЕ БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

**Аннотация.** Рассмотрены результаты исследований морфологических перестроек в коре больших полушарий головного мозга, возникающих под влиянием постоянного магнитного поля (ПМП). Воздействие ПМП интенсивностью 460 э в течение 3 мин., 15 мин. и 1 часа у бодрствующих необездвиженных кроликов вызывало в сенсомоторной коре изменения общего числа нейроглиальных элементов, а также общего числа перинейрональных сателлитов. Основной эффект преимущественно заключался в увеличении этих чисел при воздействии ПМП. Максимальные сдвиги имели место при воздействии ПМП в течение 15 мин. При этом уровень увеличения общего числа клеток глии, а также общего числа перинейрональных сателлитов достигал почти 40%. Более продолжительное воздействие ПМП уменьшало выраженность реакции. Одновременно проанализированы числа перинейрональных сателлитов, находящихся у отдельных нейронов. Число выявляемых сателлитов колебалось от 0 до 4. В результате такого анализа было выявлено увеличение числа случаев с отсутствием перинейрональных сателлитов у нейронов, что было наиболее выражено при воздействии ПМП в течение 15 мин. Сделан вывод о наличии сложной динамики морфологических перестроек, вызываемых воздействием ПМП. Предполагается, что обнаруженные морфологические реакции на воздействии ПМП представляют функциональные сдвиги при действии слабых раздражителей.

**Ключевые слова:** постоянное магнитное поле, нейроглия, мозг

### Введение

Одним из важнейших вопросов, стоящих перед нейрофизиологами в настоящее время, является выяснение роли глио-нейрональных отношений в деятельности мозга. Сейчас считается признанным фактом наличие функциональной, а может быть, и морфологической связи нейронов и клеток глии в головном мозге позвоночных. В свое время мы уже проводили некоторые исследования в данном направлении [1-3].

Нейроглия в коре больших полушарий представлена макроглией (астроцитарная глиа и олигодендроглия) и микроглией [10]. Олигодендроглия выступает в качестве спутника нервных клеток, формируя так называемую перинейрональную глию. Астроцитарная глиа, по-видимому, также может участвовать в образовании перинейрональных сателлитов. Однако в сенсомоторной коре, в отличие от других структур мозга, перинейрональная глиа в основном представлена клетками олигодендроглии [10].

Нейроглиальные клетки находятся во всех слоях коры. Число клеток олигодендро-

глии увеличивается от верхних слоев к нижним. Перинейрональные сателлиты обычно располагаются на теле нейрона у основания аксона и в месте отхождения апикального дендрита. Данная закономерность четко представлена в сенсомоторной коре, где наиболее ярко прослеживается в пятом слое. Хотя описана непосредственная субпиальная локализация астроцитов, в целом число клеток астроцитарной глии в глубоких слоях коры также превосходит их количество в верхних слоях.

Предыдущие наши исследования показали, что предъявляемые внешние раздражения, в частности звуковые, могут влиять на состояние нейроглиальных элементов, определяемое на основе колебаний их числа [1-3]. При этом нейроглиальные реакции развиваются одновременно с отклонениями со стороны характеристик биопотенциалов.

Особое место среди внешних воздействий занимают электромагнитные факторы. Они могут вызывать изменения биопотенциалов мозга. Это касается как суммарных биопотенциалов, так и нейронной активно-

сти. Существенную лепту в анализ биологического действия электромагнитных полей внести российские (советские) исследователи. [ 6, 8, 9, 12-23].

Наши тщательные электрофизиологические исследования позволили установить, что постоянное магнитное поле (ПМП) способно вызывать перестройки биопотенциалов головного мозга. Рассмотрены характеристики ЭЭГ-реакций на ПМП, проанализирована динамика развития изменений биопотенциалов, а также сделано сравнение ЭЭГ-реакций на ПМП и соответствующих отклонений при действии иных, в частности звуковых, раздражителей [17].

Цель данной работы заключается в анализе состояния нейроглии при воздействии ПМП.

### Методика

Исследования были проведены на 20 крольках (самцах) породы шиншилла весом около 3 кг. Опыты проводили в условиях звукозаглушенной камеры.

ПМП создавали электромагнитом с питанием постоянным током. Интенсивность поля составляла 460 э. Воздействию подвергалась голова животного. Продолжительность воздействия была 3 мин., 15 мин. и 1 час. Каждая серия опытов, включая и контроль, проводилась на 5 животных.

После воздействия ПМП и в контроле животных забивали методом воздушной эмболии. Контрольные животные перед забивкой на 15 мин. помещались в ту же камеру, в которой проводили опыты.

Ткань мозга после фиксации заливали в целлоидин. Сериальные срезы мозга толщиной 10 мк окрашивали галлоцианином. Морфологическому исследованию подвергали глубокие слои сенсомоторной коры (5-й и 6-й). На каждый анализируемый мозг приходилось 15 соответствующих срезов. Рассматривали общее число глиальных клеток и общее число перинейрональных сателлитов. Общее число глиальных клеток определяли по числу их ядер. За сателлиты принимали ядра клеток глиии, которые непосредственно прилегали к телу нейрона или начальных его отделов. Кроме того, проана-

лизирован % нейронов, обладающих определенным числом сателлитов.

Статистический анализ результатов проводили на основе сравнения двух выборочных долей вариант в эмпирических совокупностях.

### Результаты исследований

Полученные данные по общему числу клеток глиии представлены на рисунке 1.

Под влиянием воздействия ПМП наступало статистически достоверное повышение определяемого общего числа глиальных элементов. Это увеличение формировалось постепенно и, вероятно, претерпевало некую фазность в развитии. Оно весьма существенно было через 15 мин. после начала воздействия ПМП и также отмечалось (хотя несколько слабее) через 1 час.

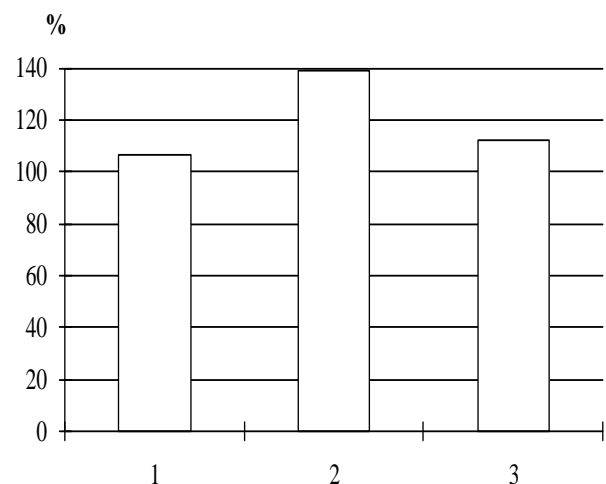


Рисунок 1 – Изменение среднего числа клеток глиии в глубоких слоях коры при воздействии ПМП в течение 3 мин. (1), 15 мин. (2), 1 часа (3) на площади 1024 кв. мм. % отношение к контролю ( $p < 0.005$ )

Одновременно с изменениями общего числа клеток глиии воздействие ПМП приводило и к увеличению числа выявляемых перинейрональных сателлитов, что отражено на рисунке 2. Увеличение числа перинейрональных сателлитов развивалось постепенно и еще не отмечалось через 3 мин. после начала воздействия. Изменения наиболее были выражены через 15 мин. и весьма существенно также после 1 часа.

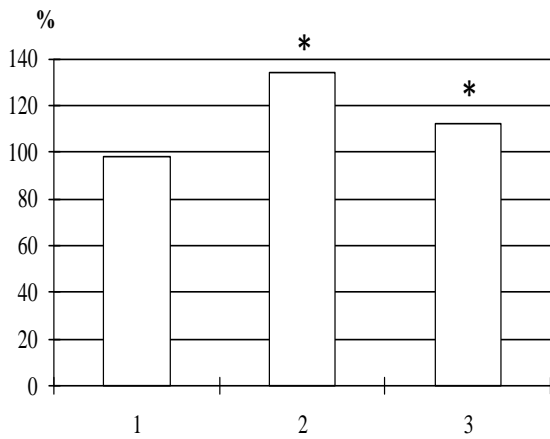


Рисунок 2 – Изменение среднего числа перинеурональных сателлитов в глубоких слоях коры при воздействии ПМП в течение 3 мин. (1), 15 мин. (2), 1 часа (3) на площади 1024 кв. мк. % отношение к контролю. Звездочками указаны достоверные отклонения ( $p < 0.005$ )

Определенный интерес представляет неидентичность поведения перинеурональных сателлитов при разных их характеристиках на воздействие ПМП. Рисунок 3 дает представление о количественных особенностях сателлитов в контрольных условиях. Несомненно лидируют случаи присутствия у нейрона только одного сателлита. Вероятность обнаружения двух и более сателлитов понижается с увеличением выявляемого их количества

Воздействие ПМП вносило некоторые коррективы в число выявляемых сателлитов (рис. 4, 5, 6). Наибольшие отклонения от контроля возникают при воздействии в течение 15 мин. (рис. 5). При этом отмечается как понижение числа случаев обнаружения нейронов без сателлитов, так и увеличение числа нейронов, обладающих сателлитами. Дальнейшее увеличение времени воздействия ПМП до 1 часа приводит к понижению этого эффекта (рис. 6).

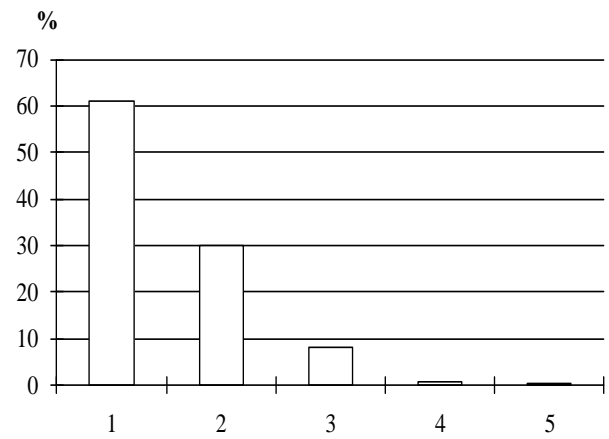


Рисунок 3 – % случаев с определенным числом сателлитов в глубоких слоях коры в контроле. Число подсчетов 1211. Число сателлитов: 1. - без сателлитов, 2. - один сателлит, 3. - два сателлита, 4. - три сателлита, 5 - четыре сателлита

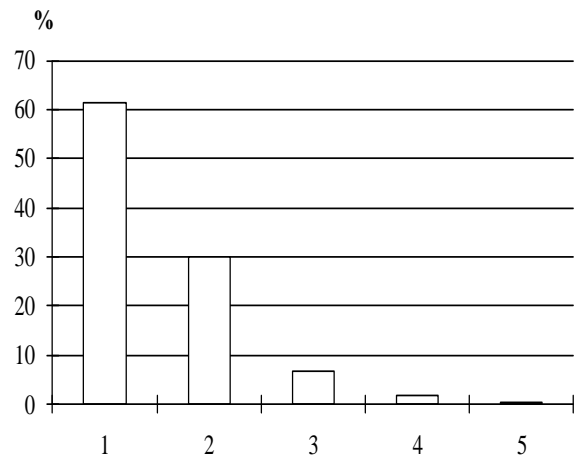


Рисунок 4 – % случаев с определенным числом сателлитов в глубоких слоях коры при воздействии ПМП в течение 3 мин. Число подсчетов 1200. Примечания как у рисунка 3

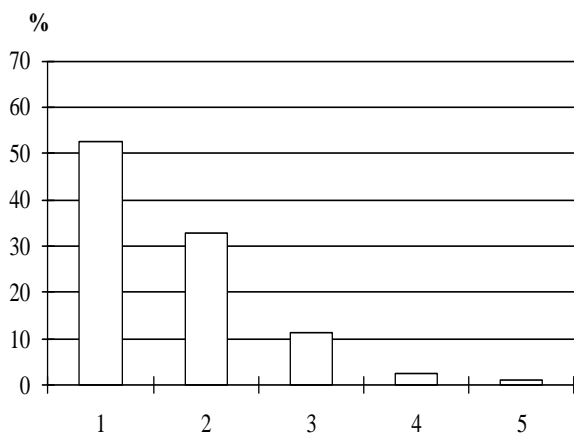


Рисунок 5 – % случаев с определенным числом сателлитов в глубоких слоях коры при воздействии ПМП в течение 15 мин. Число подсчетов 1270. Примечания как у рисунка 3

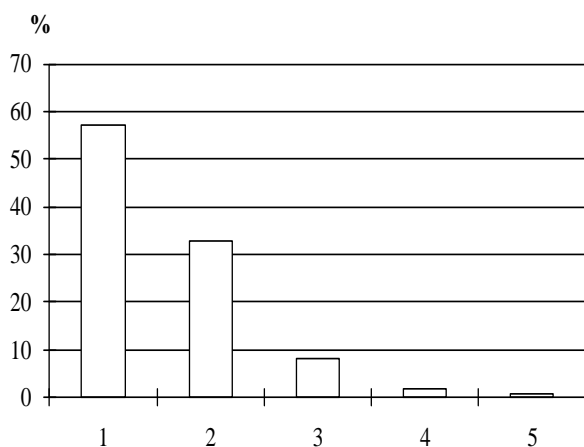


Рисунок 6 – % случаев с определенным числом сателлитов в глубоких слоях коры при воздействии ПМП в течение 1 часа. Число подсчетов 1477. Примечания как у рисунка 3

Обращает на себя внимание некоторое сходство информации, представленной на рисунках 3-6. При всех условиях опытов имело место лидирующее положение нейронов, не обладающих сателлитами. В таблице 1 суммированы количественные сведения по нейронам без сателлитов. Статистически достоверные отклонения чисел таких нейронов возникали при всех использованных длительностях воздействия ПМП. Изменения в результате воздействия ПМП в течение 3 мин. заключались в чрезвычайно малом (на 0,31%) повышении числа этих нейронов. Но, как оказалось, оно было статистически достоверным ( $p < 0.005$ ) в силу очень боль-

шого числа экспериментальных измерений. При длительностях воздействия ПМП 15 мин. и 1 час имели место статистически достоверные понижения (на 8.39% и 3.66%;  $p < 0.005$ ) чисел нейронов без сателлитов. Превалирующие сдвиги отмечались при воздействии в течение 15. мин

Таблица 1. % нейронов без сателлитов в глубоких слоях коры в контроле и при воздействии ПМП в течение 3 мин., 15 мин. и 1 часа

Условия опытов	Общее число обследованных нейронов	Число выявленных нейронов без сателлитов	% нейронов без сателлитов
контроль	1211	738	60.94
ПМП 3 мин	1200	735	61.25
ПМП 15 мин	1270	667	52.56
ПМП 1 час	1477	846	57.28

### Обсуждение результатов

Полученные результаты, так же как и предыдущие наши исследования [1-3], показали, что слабые раздражения, сдвиги при которых имеют только физиологический (а не патологический) характер, могут вызывать изменения со стороны глиии коры больших полушарий. Надо отметить, что по электрофизиологическим данным аналогичные воздействия ПМП приводят к увеличению числа медленных волн и веретен, что характерно для усиления тормозных процессов [9, 17]. В связи с этим можно предположить наличие связи морфологических и электрофизиологических параметров реакции. Подтверждением данного положения служит установленное повышение числа глиальных клеток в коре после воздействия обогащенной среды обитания животных [10].

Представляет интерес выявленная некоторая параллельность направленности изменений общего числа глиальных элементов

и числа перинейрональных сателлитов. В сходных вариантах в качестве механизма глиальных сдвигов можно предположить миграцию клеток из близлежащих отделов коры. Однако в данном случае, помимо механизма миграции, целесообразно предположить соответствующую роль метаболических сдвигов, приводящих к изменению прокрашиваемости клеток.

Значение результатов проведенных исследований определяется многими параметрами. Во-первых, полученные сведения способствуют пониманию функционирования нервных сетей и влияния на них магнитных факторов [4, 5, 7, 11, 15, 16, 24]. Во-вторых, все живые объекты на Земле находятся под влиянием электромагнитных полей космического и земного происхождения [5, 7, 12]. Наряду с естественными процессами, протекающими на нашей планете, имеют место искусственные загрязнения окружающей среды техногенного характера и применение электромагнитных факторов с медицинскими целями, в том числе для соответствующей терапии. Все эти направления требуют понимания механизмов влияния ПМП на деятельность мозга.

### Выводы

У ненаркотизированных необездвиженных кроликов воздействие ПМП интенсивностью 460 э в течение 3 мин., 15 мин. и 1 часа вызывает увеличение общего числа клеток нейроглии и общего числа перинейрональных сателлитов.

Структура изменений включает в себя преимущественно понижение числа нейронов без наличия перинейрональных сателлитов.

Существует динамика морфологических реакций на ПМП. Максимальные эффекты имеют место при воздействии ПМП в течение 15 мин. Дальнейшее увеличение продолжительности воздействия (до 1 часа) понижает выраженность изменения.

### Список литературы

1. Александровская, М.М., Чиженкова Р.А. Глиальные реакции коры мозга при звуковых стимулах // Физиол. ж. СССР. 1972. Т. 58. - №2. - С. 145-149.

2. Александровская, М.М., Чиженкова Р.А. Корреляция электрических и морфологических явлений в коре больших полушарий кролика // Доклады АН СССР. 1972. - Т. 202. - № 3. - С. 721-722.

3. Александровская, М.М., Чиженкова Р.А. Морфологические перестройки при функционировании центральной нервной системы //Сборник "Функционально-структурные основы системной деятельности и механизмы пластичности мозга". - М.: Наука, 1975.- С. 166-171.

4. Белик Д.К. Магнитобиосфера. - Новосибирск: Агенство "Сибиринт", 2016. - 106 с.

5. Григорьев Г.Ю. Алгоритмы радиобиологии: атомная радиация, космос, звук, радиочастоты, мобильная связь; Очерки научного пути. - М.: Экономика, 2015. - 263 с.

6. Лукьянова С.Н. Электромагнитное поле СВЧ диапазона нетепловой интенсивности как раздражитель для центральной нервной системы. - М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, 2015. - 200 с.

7. Лушнов А.М., Лушнов М.С. Медицинские информационные системы: многомерный анализ медицинских и экологических данных. - С. Петербург: "Геликон-Плюс", 2013.- 460 с.

8. Меркулова Л.М., Холодов Ю.А. Реакция возбудимых тканей организма на импульсные магнитные поля. - Чебоксары: Изд-во Чувашского ун-та, 1996. - 176 с.

9. 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.

10. Чиженкова Р.А. Структурно-функциональная организация сенсомоторной коры (морфологический, электрофизиологический и нейромедиаторный аспекты). - М.: Наука, 1986. - 241 с.

11. Чиженкова Р.А. Электрические следовые процессы в нейронных популяциях сенсомоторной коры: Автореф. дис. док. мед. наук. - М., 1991. - 30 с.

12. Чиженкова Р.А. Динамика нейрофизиологических исследований действия неионизирующей радиации во второй половине

XX-ого века. - М.: Изд. дом Академии Естествознания, 2012. - 88 с.

13. Чиженкова Р.А. Импульсные потоки популяций корковых нейронов при низкоинтенсивном импульсном СВЧ-облучении: межспайковые интервалы // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2014. - Т. 54. - № 4. - С. 393-404;

14. Чиженкова Р.А. Перестройки пачечной активности корковых нейронов при СВЧ облучении (0.2-0.3 мВт/см<sup>2</sup>): зависимость от ее исходных характеристик // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований - 2016. - №7. - С. 59-62;

15. Чиженкова Р.А. Холинэстеразная активность структур мозга при СВЧ воздействии // Журнал проблем эволюции открытых систем. 2017.- Т. 1. - № 19. - С. 129-133.

16. Чиженкова Р.А. Бутирилхолинэстеразная активность структур мозга при СВЧ воздействии // Журнал проблем эволюции открытых систем. 2018.- Т. 1. - № 20. - С. 84-90

17. Чиженкова Р.А. Биопотенциалы головного мозга при воздействии постоянного магнитного поля//Журнал проблем эволюции открытых систем. 2019.- Т. 1. - № 21. - С. 84-89.

18. 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.

19 Chizhenkova R.A. Pulse activity of populations of cortical neurons under microwave ex-

posures of different intensity // Bioelectrochemistry. - 2004. - V. 63. - No. 1/2. - P. 343-346.

20. 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.

21. Chizhenkova R.A. Flows of populations of cortical neurons under microwave irradiation; burst activity // Biophysics. - 2010. - V. 55. - No. 6. - P. 1085-1093.

22. Chizhenkova R, A. Bibliometrical analysis of sampling fractions of the number of published works with application of magnetic fields, carried out of neurophysiological objects of different kinds // European journal of natural History. - 2018. - No. 4. - P. 49-52.

23. Chizhenkova R.A., Safroshkina A.A. Effect of low-intensity microwaves on the behaviour of cortical neurons // Bioelectrochemistry and Bioenergetics.- 1993. - V. 30. - No. 1.- P. 287-291.

24. Oloveira F., Diedrichsen J., Verstynen T., Dugue J., Ivry R. Transcranial magnetic stimulation of posterior parietal cortex affects decision of hand choice // PNAS. - 2010. - V. 107. - No. 41. - P. 17751 - 17756.

*Принято в печать 30.01.2020*

**Р.А. Чиженкова**

*Институт биофизики клетки РАН, Россия, Московская область, г. Пущино  
[chizhenkova@mail.ru](mailto:chizhenkova@mail.ru)*

## **ГЛИАЛЬНЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ В КОРЕ БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

**Аннотация.** Рассмотрены результаты исследований морфологических перестроек в коре больших полушарий головного мозга, возникающих под влиянием постоянного магнитного поля (ПМП). Воздействие ПМП интенсивностью 460 э в течение 3 мин., 15 мин. и 1 часа у бодрствующих необездвиженных кроликов вызывало в сенсомоторной коре изменения общего числа нейроглиальных элементов, а также общего числа перинейрональных сателлитов. Основным эффектом преимущественно заключался в увеличении этих чисел при воздействии ПМП. Максимальные сдвиги имели место при воздействии ПМП в течение 15 мин. При этом уровень увеличения общего числа клеток глии, а также общего числа перинейрональных сателлитов достигал почти 40%. Более продолжительное воздействие ПМП уменьшало выраженность реакции. Одновременно проанализированы числа перинейрональных

сателлитов, находящихся у отдельных нейронов. Число выявляемых сателлитов колебалось от 0 до 4. В результате такого анализа было выявлено увеличение числа случаев с отсутствием перинеурональных сателлитов у нейронов, что было наиболее выражено при воздействии ПМП в течение 15 мин.. Сделан вывод о наличии сложной динамики морфологических перестроек, вызываемых воздействием ПМП. Предполагается, что обнаруженные морфологические реакции на воздействии ПМП представляют функциональные сдвиги при действии слабых раздражителей.

**Ключевые слова:** постоянное магнитное поле, нейроглия, мозг

**R.A, Chizhenkova**

*Institute of Cell Biophysics RAS. Russia, Moscow region. Pushchino*

[chizhenkova@mail.ru](mailto:chizhenkova@mail.ru)

## **GLIAL REARRANGEMENTS IN THE CEREBRAL CORTEX UNDER CONSTANT MAGNETIC FIELD**

**Abstract.** Results of investigations of morphological rearrangements in the cerebral cortex under constant magnetic field (CMF) were considered. Action of CMF of intensity 460 e during 3 min., 15 min. and 1 hr in the cerebral cortex of unanesthetized and unrestrained rabbits produced change of the general number of glial elements, and too the general number of perineuronal satellites. Basic effect mainly was contained in rise of these numbers under action of CMF. Maximum changes were under action CMF during 15 min. Then the of level of the general number of glial cells and too the general of perineuronal satellites reached 40 %/ More long action of CMF decreased expression of reaction. Simultaneously the numbers of perineuronal satellites beside separate neurons were analysed. The numbers of revealed satellites were from 0 to 4. Increase of the number of events with absence of perineuronal satellites in neurons was particularly during 15-min. action of CMF. Conclusion was maked about compound dynamics of morphological rearrangements during action of CMF.

**Keywords:** constant magnetic field, neuroglia, the brain

**Р.А. Чиженкова**

*РАС Жасуша биофизикасы институты, Ресей, Мәскеу облысы, Пушино*

[chizhenkova@mail.ru](mailto:chizhenkova@mail.ru)

## **ТҰРАҚТЫ МАГНИТ ӨРІСІНІҢ ӘСЕРІНЕН ҮЛКЕН ЖАРТЫ ШАРЛАРДЫҢ ҚАБЫҒЫНДАҒЫ ГЛИАЛДЫ ҚАЙТА ҚҰРУ**

**Аннотация.** Тұрақты магнит өрісінің (PMF) әсерінен пайда болатын ми қыртысының морфологиялық қайта құрылымдауын зерттеу нәтижелері қарастырылды. Қарқындылығы 460 Ое болатын PMF әсеріне 3 минут, 15 минут және сергек қозғалмайтын қояндарда 1 сағат нейроглиялы элементтердің жалпы санында, сондай-ақ перинеурондық спутниктердің жалпы санында сенсомоторлы кортексте өзгерістер болды. Негізгі әсер PMF әсер еткенде көбінесе осы сандардың көбеюі болды. Максималды ауысулар PMF әсерінен 15 минут болған кезде пайда болды. Сонымен қатар, глиальды жасушалардың жалпы санының, сондай-ақ перинеурондық спутниктердің жалпы санының өсу деңгейі 40% -ға жетті. PMF-ге ұзақ әсер ету реакцияның ауырлығын төмендетеді. Бұл кезде жеке нейрондарда орналасқан перинеурондық спутниктердің саны талданды. Анықталған жерсеріктер саны 0-ден 4-ке дейін болды. Осы талдау нәтижесінде нейрондарда перинеурондық спутниктер болмаған кездегі жағдайлардың санының артуы анықталды, бұл ПМФ 15 минут әсер еткенде айқын байқалды. ПМФ әсеріне анықталған морфологиялық реакциялар әлсіз тітіркендіргіштердің әсерінен функционалды жылжуды білдіреді деп болжануда.

**Түйін сөздер:** тұрақты магнит өрісі, нейроглия, ми