

© Коллектив авторов, 2020  
УДК 616.428+611.438:616-092.4  
DOI – <https://doi.org/10.14300/mnnc.2020.15090>  
ISSN – 2073-8137

## МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ОРГАНАХ ИММУНОГЕНЕЗА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ФАКТОРА

А. Т. Яковлев<sup>1</sup>, А. А. Коробкеев<sup>2</sup>, Е. А. Загороднева<sup>1</sup>, Н. Г. Краюшкина<sup>1</sup>,  
Д. П. Лаврова<sup>1</sup>, Н. И. Ковалева<sup>1</sup>, Е. В. Власова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Волгоградский государственный медицинский университет,  
Российская Федерация

<sup>2</sup> Ставропольский государственный медицинский университет,  
Российская Федерация

## MORPHOLOGICAL CHANGES IN THE ORGANS OF IMMUNOGENESIS UNDER THE INFLUENCE OF AN EXPERIMENTAL FACTOR

Yakovlev A. T.<sup>1</sup>, Korobkeev A. A.<sup>2</sup>, Zagorodneva E. A.<sup>1</sup>, Krayushkina N. G.<sup>1</sup>,  
Lavrova D. P.<sup>1</sup>, Kovaleva N. I.<sup>1</sup>, Vlasova E. V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Volgograd State Medical University, Russian Federation

<sup>2</sup> Stavropol State Medical University, Russian Federation

В ходе экспериментально-морфологического исследования установлены закономерности морфологических изменений в центральных и периферических органах иммунной системы при воздействии на организм переменного электромагнитного поля промышленной частоты. При 7-дневном облучении животных выявлено почти двукратное увеличение площади вентро-дорсальной проекции тимуса с уменьшением на треть относительной площади коркового вещества. Морфологические изменения в лимфоузлах касались как внешних параметров, так и внутренних структур. После 14 дней облучения органы иммуногенеза приобретали резистентность к воздействию электромагнитного поля при сохранении высокой пролиферативной активности лимфоидной ткани.

*Ключевые слова:* переменные электромагнитные поля промышленной частоты, тимус, лимфатические узлы

In the course of an experimental morphological study, the regularities of morphological changes in the central and peripheral organs of the immune system were established when the body was exposed to an alternating electromagnetic field of industrial frequency. After 7-day irradiation of animals, an almost two-fold increase in the area of the ventro-dorsal projection of the thymus was revealed with a decrease in the relative area of the cortex by one third. Morphological changes in the lymph nodes concerned both external parameters and internal structures. After 14 days of irradiation, the organs of immunogenesis acquired resistance to the effects of the electromagnetic field while maintaining a high proliferative activity of lymphoid tissue.

*Keywords:* variable electromagnetic fields of industrial frequency, thymus, lymph nodes

**Для цитирования:** Яковлев А. Т., Коробкеев А. А., Загороднева Е. А., Краюшкина Н. Г., Лаврова Д. П., Ковалева Н. И., Власова Е. В. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ОРГАНАХ ИММУНОГЕНЕЗА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ФАКТОРА. *Медицинский вестник Северного Кавказа*. 2020;15(3):381-383. DOI – <https://doi.org/10.14300/mnnc.2020.15090>

**For citation:** Yakovlev A. T., Korobkeev A. A., Zagorodneva E. A., Krayushkina N. G., Lavrova D. P., Kovaleva N. I., Vlasova E. V. MORPHOLOGICAL CHANGES IN THE ORGANS OF IMMUNOGENESIS UNDER THE INFLUENCE OF AN EXPERIMENTAL FACTOR. *Medical News of North Caucasus*. 2020;15(3):381-383. DOI – <https://doi.org/10.14300/mnnc.2020.15090> (In Russ.)

БЛУ – брыжеечный лимфатический узел  
ЛУ – лимфатический узел  
ПЛУ – паховый лимфатический узел

ПЭМП ПЧ – переменное электромагнитное поле промышленной частоты

**С**ложилось мнение, что анатомо-гистологические изменения, нарушения структурно-клеточной конструкции органов иммунной системы под влиянием электромагнитного поля связаны с адаптационной реакцией организма, развернутой во времени [1–3]. Специфические, ещё до конца не уточненные механизмы дестабилизирующего действия магнитных полей на

молекулярном и клеточном уровнях жизнедеятельности сопровождаются и неспецифическими проявлениями структуры и функции органов иммуногенеза [4, 5].

Представленные экспериментальные данные о структурно-клеточных отношениях в системе иммунных органов при различных сроках облучения переменным электромагнитным полем промышленной

частоты наглядно демонстрируют разноуровневый характер морфологических преобразований в этих органах [6–8]. Вместе с тем достоверных данных о параметрах реакции органов иммуногенеза, развернутых во времени, с характеристикой саногенетической поддержки в литературе нет.

Цель исследования – оценить в экспериментальных условиях особенности структурных преобразований в органах иммуногенеза при дозированном воздействии ПЭМП ПЧ во временном аспекте.

**Материал и методы.** Воздействию экспериментального фактора ПЭМП ПЧ 50 Гц и напряженностью 16 кА/м подвергали половозрелых 6-месячных кроликов-самцов породы шиншилла, массой 3000 г. Всего в экспериментальной группе было 40 клинически здоровых животных и 10 клинически здоровых животных в группе контроля.

Каждую группу опытных животных (по 10 кроликов в каждой) облучали по 6 часов в день 1, 7, 14, 28 дней в осенний период года. Вскрытие и забор материала проводили на следующий день после завершения эксперимента.

До начала эксперимента и в процессе его проведения у опытных животных выполнялись запись электрокардиограммы (ЭКГ), общий анализ крови, контроль температуры тела. После вскрытия животных проводились первичная органокопическая и органомерная оценка органов иммунной системы, определялась площадь тимуса в его вентро-дорсальной проекции. После этого тимус взвешивался на аналитических весах с точностью до 0,1 мг. Повторное взвешивание тимуса, помещенного в физиологический раствор, позволяло определить его объем по формуле  $V=(P1 - P2) / d$ , где  $V$  – объем органа,  $P1$  – масса органа в воздухе,  $P2$  – масса органа в жидкости,  $d$  – плотность жидкости. Далее осматривались БЛУ и ПЛУ.

Изучаемые органы фиксировали в 10–20 %-ном водном растворе формалина, жидкости Карнуа. Затем из парафиновых блоков готовили серийные стандартные гистологические срезы тимуса и ЛУ (на уровне ворот и полюсов) и окрашивали общепринятыми методами окраски по Футу, Фельгену, Маллори, Ван Гизону, Вейгерту, гематоксилин-эозин, азур-2-эозин.

Проводилась качественная и количественная оценка структурных характеристик органов. Количественный морфометрический анализ включал стереометрию, количественную характеристику на светооптическом уровне (денситометрия, густота расположения клеточных элементов, клеточный состав).

В тимусе определялось соотношение междольковой стромы и паренхимы, внутри долек – соотношение объемных фракций мозгового и коркового вещества. В БЛУ и ПЛУ измерялись объемные доли лимфоидных узелков, площади и соотношение структур междольковой ткани коркового вещества, паракортикальной зоны, а также соотношение коркового и мозгового вещества в целом.

Расположение клеточных элементов и число клеток на единицу площади среза изучались в корковом и мозговом веществе долек тимуса, в лимфоидных узелках и других зонах БЛУ и ПЛУ.

**Результаты и обсуждение.** При экспериментальном облучении животных ПЭМП ПЧ получены закономерности морфологических изменений в органах иммунной системы, проявляющиеся при однократных воздействиях (1 день) в увеличении размеров площади ряда структур лимфоидной ткани (по сравнению с контролем) и уменьшении их при хроническом воздействии ПЭМП ПЧ (при многократных

облучениях животных по 6 часов ежедневно в течение 7, 14, 28 дней).

Статистически значимые сдвиги обнаруживались после 7-кратных облучений, а наиболее выраженные, достигающие 50–70 % от контрольных величин, отмечались после 14-дневных воздействий ПЭМП ПЧ. При экспозиции облучения животных в течение 7 дней площадь вентро-дорсальной проекции тимуса уменьшалась почти вдвое. На общей площади гистологического среза тимуса при этом сроке облучения ПЭМП ПЧ относительная площадь коркового вещества уменьшалась до 30 % от исходного уровня.

Морфологические изменения в ЛУ касались как внешних параметров, так и внутренних структур. Площадь продольного гистологического среза на уровне ворот БЛУ и ПЛУ уменьшалась в сравнении с контролем на 40–60 % при 7-дневном облучении животных ПЭМП ПЧ. В корковом веществе увеличивался процент лимфоидных узелков с центром размножения, уменьшалась в 2–3 раза площадь каждого лимфоидного узелка, а суммарная площадь лимфоидных узелков на срезе брыжеечного лимфатического узла становилась равной 1,71 мм<sup>2</sup>. На центральном продольном срезе ПЛУ кролика при указанном сроке воздействия ПЭМП ПЧ суммарная площадь лимфоидных узелков уменьшалась с 0,40 до 0,15 мм<sup>2</sup>.

Резко возрастала относительная площадь центра размножения в лимфоидных узелках (например, в ПЛУ с 21 до 42 %) и уменьшались размеры мантии (например, в БЛУ с 74 до 39 %). В два раза в БЛУ и три раза в ПЛУ уменьшались абсолютные размеры площади, занимаемой мякотными тяжами, междольковой и паракортикальной зонами. Серебристые гистологических срезов показало, что уменьшение размеров лимфоидных узелков связано с опустошением их – уменьшением в них количества клеточных элементов при относительной сохранности в них ретикулярной стромы.

После 7-дневных облучений в субкапсулярной зоне и центральной части коркового вещества тимуса изменения клеточного состава характеризовались нерезким снижением процента малых лимфоцитов (0,9 от контрольных значений, принимаемых за 1,0), снижением числа больших лимфоцитов (в пределах 0,8 от контроля), увеличением в такой же степени процента средних лимфоцитов, 2- и 3-кратным увеличением процента ретикулярных клеток. В субкапсулярной зоне увеличивалось число лимфоцитов с фигурами митоза.

В лимфоидных узелках БЛУ нередко снижалось относительное количество всех форм лимфоцитов, в несколько раз повышался процент ретикулярных клеток. Сходной направленности сдвиги отмечались в мякотных тяжах и междольковой зоне. В паракортикальной зоне увеличивался процент больших лимфоцитов и бластов. Данный период повторных воздействий ПЭМП ПЧ (7, 14 дней) можно назвать второй стадией, при которой заметен феномен уменьшения размеров площади структур лимфоидной ткани, то есть паренхимы органов иммунной системы.

Полученные результаты позволили выявить фазовый характер происходящих в исследуемых лимфоидных органах изменений и обозначить их как стадии (фазы) процесса морфологической перестройки органов иммунной системы при хроническом воздействии ПЭМП ПЧ.

Обнаруженные нами морфологические изменения в органах иммунной системы при повторных воздействиях ПЭМП ПЧ следует расценивать как реакцию, похожую на стрессовую. После 28-го дня воз-

действия ПЭМП ПЧ в тимусе оставалась достоверно сниженной (с невысоким процентом отклонения от контрольных величин) площадь корковой зоны. В ЛУ все изученные показатели не отличались от нормальных в группе контроля. Поэтому наши данные позволяют считать, что после 14 дней облучения животных, несмотря на продолжение воздействия, в лимфоидных образованиях не только не отмечалось углубления морфологических сдвигов, но и начинался процесс восстановления. Очевидно, рассматривая во взаимосвязи весь процесс реагирования и морфологических изменений органов иммунной системы, возникающих в ответ на воздействие ПЭМП ПЧ, следует выделить и фазу восстановления нарушенных морфофункциональных взаимоотношений.

**Заключение.** Нормализация параметров морфологических изменений в органах иммуногенеза после 14 дней облучения ПЭМП ПЧ свидетельствует не только об активности и сохранности репаративных процессов в них, и прежде всего в тимусе, но и о приобретении этими органами после 14 дней облучения резистентности к воздействию ПЭМП ПЧ при сохранении высокой пролиферативной активности лимфоидной ткани.

Полученные нами результаты свидетельствуют о необходимости учета их при обосновании гигиени-

ческих нормативов безопасных для человека уровней воздействия ПЭМП ПЧ. Незавершенность представлений о механизме биотропного действия магнитных полей, о пороге вредного действия их и опасности для здоровья человека делают проблему обоснования допустимых и безопасных уровней воздействия чрезвычайно актуальной.

**Информированное согласие:** Экспериментальное исследование проведено в полном соответствии с требованиями надлежущей лабораторной практики (изложенными в национальном стандарте «Принципы надлежущей лабораторной практики» ГОСТ Р 53434–2009), с соблюдением Международных принципов Европейской конвенции о «Защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей» (Страсбург, 1986), в соответствии с Международными рекомендациями по проведению медико-биологических исследований с использованием животных (1985), «Общими этическими принципами экспериментов на животных» (Россия, 2011), правилами лабораторной практики в Российской Федерации (приказ МЗ РФ № 267 от 19.06.2003) и положительным заключением этического комитета.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

#### Литература/References

1. Sato Y., Kiyohara K., Takehara S., Kojimahara N. Ecological study on the penetration of induction heating cookers and birth outcomes in Japan. *AIMS Public Health*. 2020;7(2):336-343. <https://doi.org/10.3934/publichealth.2020028>
2. Paolucci T., Pezzi L., Centra A. M., Giannandrea N., Bellomo R. G., Saggini R. Electromagnetic Field Therapy: A Rehabilitative Perspective in the Management of Musculoskeletal Pain – A Systematic Review. *Journal Pain Research*. 2020;13:1385-1400. <https://doi.org/10.2147/JPR.S231778>
3. Zymantiene J., Juozaitiene V., Zelvyte R., Oberauskas V., Spancerniene U. [et al.]. Effect of Electromagnetic Field Exposure on Mouse Brain Morphological and Histopathological Profiling. *Journal of Veterinary Research*. 2020;64(2):319-324. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2020-0030>
4. Ouyang J., Zhang B., Kuang L., Yang P., Du X. [et al.]. Pulsed Electromagnetic Field Inhibits Synovitis via Enhancing the Efferocytosis of Macrophages. *BioMed Research International*. 2020;2020:4307385. <https://doi.org/10.1155/2020/4307385>
5. Simkó M., Mattsson M. O. Extremely low frequency electromagnetic fields as effectors of cellular responses in vitro: possible immune cell activation. *Journal of Cellular Biochemistry*. 2004;93(1):83-92. <https://doi.org/10.1002/jcb.20198>
6. An G. Z., Xu H., Zhou Y., Du L., Miao X. [et al.]. Effects of long-term 50Hz power-line frequency electromagnetic field on cell behavior in Balb/c 3T3 cells. *PLoS ONE*. 2015;10(2):e0117672. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117672>
7. Li B. L., Li W., Bi J. Q., Zhao J. G., Qu Z. W. [et al.]. Effect of long-term pulsed electromagnetic field exposure on hepatic and immunologic functions of rats. *Wiener Klinische Wochenschrift*. 2015;127(23-24):959-962. <https://doi.org/10.1007/s00508-015-0732-8>
8. Краюшкин А. И., Перепелкин А. И., Александрова Л. И., Загороднева Е. А., Краюшкина Н. Г. Пространственная организация в плоскости среза протяженных структур лимфатических узлов кролика при воздействии переменного электромагнитного поля промышленной частоты. *Волгоградский научно-медицинский журнал*. 2016;(4):11-17. [Krayushkin A. I., Perepelkin A. I., Alexandrova L. I., Zagorodneva E. A., Krayushkina N. G. Spatial organization in the cross-section plane of extended structures of rabbit lymph nodes under the influence of an alternating electromagnetic field of industrial frequency. *Volgogradskii nauchno-Medicinskii zhurnal. – Volgograd Scientific and Medical Journal*. 2016;(4):11-17. (In Russ.)].

#### Сведения об авторах:

Яковлев Анатолий Трофимович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой клинической лабораторной диагностики; тел.: 89033154779; e-mail: yakov1609@yandex.ru

Коробкеев Александр Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой анатомии; тел.: (8652)353229; e-mail: korobkeev@stgmu.ru

Загороднева Елена Александровна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры клинической лабораторной диагностики; тел.: 89023807869; e-mail: z-e-alex@mail.ru

Краюшкина Наталья Геннадьевна, кандидат медицинских наук, доцент; тел.: 89197969889; e-mail: natalyk75@bk.ru

Лаврова Диана Павловна, ассистент; тел.: 89608731087; e-mail: dialav-office@mail.ru

Ковалева Наталья Ивановна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры анатомии человека; тел.: 89876485473; e-mail: nika.kovaleva68@yandex.ru

Власова Екатерина Владимировна, аспирант; тел.: 89064012842; e-mail: ekaterina-v@mail.ru